

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**APLICAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA
BACIA DO RIO PARANHANA**

ANDRÉ RAYMUNDO PANTE

Dissertação Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr Antonio Eduardo Lanna

Banca examinadora:

Prof. Dr André Luiz Lopes da Silveira	UFRGS
Prof. Dr Luiz Fernando Cybis	UFRGS
Dra Janine Ferreira Haase	FEPAM
Prof Dr José Nilson Bezerra Campos	UFC
Dr Luciano Meneses Cardoso da Silva	ANA

Porto Alegre, janeiro de 2006.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Professor Antonio Eduardo Lanna da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço ao professor Lanna que, apesar de sua escassez de tempo, aceitou a orientação do trabalho e sempre foi muito atencioso comigo, atendendo a todas as demandas.

Aos colegas e amigos Amauri Barcelos, Daniel Argenta, Jean Minella e ao agora professor Walter Collischonn, com os quais convivi no início da minha vida acadêmica no IPH como bolsista no laboratório de sedimentos. Um agradecimento especial ao professor Gustavo Merten, um exemplo de professor dedicado aos seus alunos. A todos os colegas e amigos do mestrado, em especial ao Eder Teixeira, Dante, Elba e Eduardo Bueno.

Agradeço aos professores Joel e Cybis pelas contribuições quando da apresentação do plano de dissertação.

Agradeço também aos colegas e amigos da ANA que colaboraram neste trabalho com informações e revisão: Alan Lopes, Carlos Motta, Flavio Troger, Gustavo Sena, Leonardo Mitre e Luciano Meneses.

RESUMO

As Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos – Lei Federal nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997 e Lei Estadual nº. 10.350, de 30 de dezembro de 1994, dispõem sobre uma série de instrumentos de gestão de recursos hídricos – outorga de direito de uso, enquadramento de corpos d'água em classes, cobrança pelo uso da água, planos de recursos hídricos e outros. No entanto, a operacionalização destes instrumentos, para que sejam aplicados de forma conjunta em uma bacia, necessita da proposição, aplicação e validação de metodologias que integrem tais instrumentos, através de ferramentas técnicas e de articulação institucional entre os componentes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Este trabalho procura abordar a aplicação dos instrumentos de outorga de direito de uso, enquadramento de corpos d'água e rateio de custos. São analisados critérios de outorga de direito de uso e proposto um plano de investimentos em tratamento de efluentes na bacia do rio Paranhana-RS, de modo que as classes em que os corpos d'água da bacia estão enquadrados sejam atendidas ao menor custo para a bacia. Isto é realizado por meio de uma proposta de otimização dos níveis de tratamento de efluentes na bacia aliada a um esquema de rateio de custos e compensação financeira entre os usuários.

Conclui-se que o critério de outorga que melhor sinaliza ao órgão gestor os níveis de atendimento às demandas é o critério da garantia de suprimento, que também consegue contemplar todos os setores usuários com garantias variadas, atendendo aos usos prioritários com maiores garantias, em detrimento aos usos menos prioritários.

A proposta otimizada de investimentos em tratamento de efluentes na bacia resulta no atendimento às classes propostas pelo enquadramento com custos inferiores, para a bacia como um todo, aos necessários para o atendimento aos padrões de concentração dos lançamentos de efluentes exigidos pelo órgão ambiental. O esquema de compensação financeira entre usuários também torna a alternativa otimizada de níveis de tratamento de efluentes atrativa a cada um dos usuários, quando comparada aos custos que cada usuário teria ao cumprir os padrões de lançamento exigidos pelo órgão ambiental.

ABSTRACT

The Brazilian National Water legislation - Law 9.433/97 and Rio Grande do Sul State legislation - State Law 10350/94, established a set of water resources management instruments: water use rights, water bodies classification, water pricing, water resources plans, among others. However, the effective implementation of these instruments in an integrated way in a river basin requires the proposition, application and validation of methodologies that put together such instruments, through the institutional arrangements among the components of The National Water Resources Council.

This work aims to apply the instruments established by the water resources legislation, such as water use rights, water pricing, water bodies classification and costs sharing by proposing and analyzing criteria for the water use rights. It also proposes a wastewater treatment investment plan for the Rio Paranhana Basin, in Rio Grande do Sul State, in order to reach the classification goals defined to each water body in this basin at a lower cost. This will be achieved by an optimization of the wastewater treatment levels in the basin together with a cost sharing scheme and financial compensation among water users in the region.

To the water resource management organizations, the criterion that better defines the attendant level for water resources demand is the supply guaranty criterion, once it can supply all type of users, where priority water-uses have strong guaranties in spite of the non-priority ones.

The investment optimized proposal on wastewater treatment satisfies the classification of bodies of water within the watershed. This is obtained with lowest costs than that ones which are needed to satisfy wastewater treatment pattern established by the environmental public organization, which is based on concentration limits. The financial compensation network between water users also turns the optimized proposal on waste water treatment attractive to each user, when it is compared to costs needed to satisfy waste water treatment pattern established by the environmental public organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	2
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1 O PORQUÊ DA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	4
2.2 CONCEITUAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	5
2.2.1 <i>Instrumentos jurídicos - “comando-e-controlê”</i>	5
2.2.2 <i>Instrumentos econômicos</i>	5
2.3 ASPECTOS HISTÓRICOS E LEGAIS DO GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	6
2.3.1 <i>Aspectos legais sobre recursos hídricos</i>	6
2.3.2 <i>Aspectos em Qualidade das Águas</i>	9
2.4 ENQUADRAMENTO DOS CORPOS DE ÁGUA	12
2.5 OUTORGA DE DIREITO DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS	14
2.5.1 <i>Conceituação e Modalidades de Outorga</i>	14
2.5.2 <i>Direitos de Uso da Água</i>	15
2.5.3 <i>Critérios de Outorga</i>	16
2.5.4 <i>Outras considerações sobre outorga</i>	22
2.6 DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA OUTORGA	24
2.7 OUTORGA QUALITATIVA	29
2.7.1 <i>Vazão de diluição</i>	31
2.7.2 <i>DBO como parâmetro representativo da qualidade da água</i>	32
2.7.3 <i>Capacidade de autodepuração</i>	33
2.8 SIMULAÇÃO DA OUTORGA QUANTITATIVA E QUALITATIVA	37
2.8.1 <i>Equação de Balanço Hídrico – Simulação Hidrológica</i>	38
2.8.2 <i>Análise sistêmica aplicada a recursos hídricos</i>	40
2.9 O RATEIO DE CUSTO DE OBRAS DE USO E PROTEÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	41
2.9.1 <i>Definição e aspectos legais</i>	41
2.9.2 <i>Aspectos técnicos</i>	42
2.9.3 <i>Compensação financeira entre usuários como instrumento de gestão de recursos hídricos</i>	43
2.10 TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO APLICADAS À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	44
2.10.1 <i>Abordagem Custo-Benefício</i>	45
2.10.2 <i>Abordagem Custo-Efetividade</i>	46
2.10.3 <i>Análise Multicritério</i>	46
3. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	
3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS	48
3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	49
3.2.1 <i>Características Climáticas</i>	49
3.2.2 <i>Características Geomorfológicas</i>	49
3.3 CARACTERÍSTICAS SÓCIO-ECONÔMICAS	50
3.3.1 <i>Aspectos Demográficos</i>	50
3.3.2 <i>Aspectos Econômicos</i>	50
3.4 CONFLITOS DE USO DA ÁGUA NA BACIA	51
3.5 Estágio da Gestão dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Paranhana	52

4. METODOLOGIA	
4.1 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA	54
4.2 DISCRETIZAÇÃO DA BACIA E DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE (PC's)	64
4.3 LEVANTAMENTO DE DEMANDAS NA BACIA	65
4.3.1 <i>Abastecimento Público</i>	66
4.3.2 <i>Demandas Industriais</i>	69
4.3.3 <i>Dessedentação animal</i>	69
4.3.4 <i>Irrigação</i>	70
4.3.5 <i>Saneamento urbano</i>	71
4.3.6 <i>Saneamento rural</i>	72
4.3.7 <i>Poluição difusa rural</i>	73
4.3.8 <i>Indústria</i>	73
4.4 DEFINIÇÃO DE USOS PRIORITÁRIOS	75
4.5 CÁLCULO DAS VAZÕES DE DILUIÇÃO E AUTO-DEPURAÇÃO	75
4.6 SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OUTORGA PARA CAPTAÇÃO E DILUIÇÃO DE POLUENTES	77
5. RESULTADOS E AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OUTORGA.	
5.1 CRITÉRIO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA CONSIDERANDO COMO VAZÃO OUTORGÁVEL 70% DA Q95	79
5.2 CRITÉRIO DA VAZÃO DE REFERÊNCIA CONSIDERANDO COMO VAZÃO OUTORGÁVEL 70% DA Q95 MENSAL	83
5.3 CRITÉRIO BASEADO NA GARANTIA DE SUPRIMENTO ASSOCIADA À PRIORIZAÇÃO DE DEMANDAS	84
5.4 CRITÉRIO DA VAZÃO EXCEDENTE ASSOCIADA À PRIORIZAÇÃO DE DEMANDAS	86
5.5 NÍVEL ATUAL DE TRATAMENTO NA BACIA	89
5.6 PADRÕES DE LANÇAMENTO EXIGIDOS NA BACIA	90
6. ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE GESTÃO PARA A BACIA DO RIO PARANHANA.	
6.1 NÍVEIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES E PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DOS INVESTIMENTOS EM TRATAMENTO DE ESGOTOS NA BACIA	91
6.2 FLEXIBILIZAÇÃO TEMPORÁRIA DO ENQUADRAMENTO – ETAPALIZAÇÃO DA QUALIDADE	100
6.3 COMPENSAÇÃO FINANCEIRA ENTRE OS AGENTES POLUIDORES DA BACIA	104
6.4 COMENTÁRIOS SOBRE AS PROPOSTAS APRESENTADAS	109
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	
7.1 CRITÉRIOS DE OUTORGA	110
7.2 NÍVEIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PROPOSTOS E ALTERNATIVAS DE GESTÃO PARA A BACIA	111
8. BIBLIOGRAFIA	
ANEXO 1 – SÉRIES DE VAZÕES	
ANEXO 2 – FORMULAÇÕES IMPLEMENTADAS NO PROGRAMA LINDO	
ANEXO 2.1 – FORMULAÇÃO IMPLEMENTADA NO PROGRAMA LINDO PARA OTIMIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE TRATAMENTO SEGUNDO O ENQUADRAMENTO APROVADO PELO COMITESINOS	
ANEXO 2.2 – FORMULAÇÃO IMPLEMENTADA NO PROGRAMA LINDO PARA OTIMIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE TRATAMENTO SEGUNDO A PROPOSTA DE ENQUADRAMENTO FLEXIBILIZADO	

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classes de uso preponderantes para águas doces definidas pela Resolução CONAMA nº 357/2005	11
Tabela 2.2 – limites de concentração para alguns parâmetros segundo a resolução CONAMA nº. 357/2005	11
Tabela 2.3 – proposta de classificação de critérios de outorga (adaptado de Lanna, 1999)	17
Tabela 2.4 – custos de oportunidade e atendimentos no exemplo hipotético (extraído de Moreira e Kelman, 2003)	21
Tabela 2.5 – Sistema de compensação financeira do exemplo hipotético (extraído de Moreira e Kelman, 2003).....	22
Tabela 2.6 – Padrões de emissão para lançamentos de fontes poluidoras existentes, segundo Portaria SSMA nº. 05/1989.....	30
Tabela 2.7 – Valores típicos de k1.....	36
Tabela 3.1 – Municípios da bacia do rio Paranhana	50
Tabela 4.1 - Resumo dos postos fluviométricos	55
Tabela 4.2 – Resumo dos postos de precipitação utilizados no trabalho	58
Tabela 4.3 – Resultados do Vetor C	59
Tabela 4.4 – Resultados do Vetor Regional L.....	60
Tabela 4.5 – Ponderadores de Thiessen utilizados no modelo chuva-vazão	62
Tabela 4.6 – Cálculo da evapotranspiração potencial (em mm).....	62
Tabela 4.7 – Parâmetros ajustados para o Posto Passo do Louro (87366000).....	63
Tabela 4.8 – Parâmetros ajustados válidos para o Posto Igrejinha (87372000).....	63
Tabela 4.9 – População da bacia no ano de 2000 (IBGE, 2000)	66
Tabela 4.10 – Resultados da projeção de população para os cenários atual e 2015	67
Tabela 4.11 – demandas para abastecimento urbano e rural.....	68
Tabela 4.12 – Demandas para abastecimento urbano e rural. Discretizadas nos Pontos de Controle	68
Tabela 4.13 – Demandas industriais na bacia do rio Paranhana.....	69
Tabela 4.14 – Consumos para indústria (m ³ /s).....	69
Tabela 4.15 – Consumos por cabeça de animal (extraído de EPA, 1973, apud Magna, 1996)	70
Tabela 4.16 – Consumos para dessedentação animal (m ³ /s).....	70
Tabela 4.17 – Consumos para irrigação por Município.....	70
Tabela 4.18 – Consumos para irrigação (m ³ /s).....	70
Tabela 4.19 – Vazões de lançamento de esgotamento sanitário urbano por Ponto de Controle (m ³ /s)	71
Tabela 4.20 – Cargas atenuadas (que chegam aos Pontos de Controle) de DBO (kg/dia). Coeficiente de atenuação: 0,38.....	72
Tabela 4.21 – Vazões de lançamento de esgotamento sanitário rural por Ponto de Controle (m ³ /s).....	72
Tabela 4.22 – Cargas de DBO por Ponto de Controle (kg/dia)	72
Tabela 4.23 – Cargas de DBO por Ponto de Controle (kg/dia)	73
Tabela 4.24 – Cargas brutas de DBO lançadas por município (kg/dia).....	74
Tabela 4.25 – Cargas brutas industriais de DBO por Ponto de Controle (kg/dia).....	74
Tabela 4.26 – Valores máximos de abatimento de DBO de algumas das indústrias da bacia do rio Paranhana, por tipo de indústria	74
Tabela 4.27 – Resumo das demandas e cargas por PC, no cenário atual.....	74
Tabela 4.28 – Resumo das demandas e cargas por PC, no cenário de 2015.....	75

Tabela 4.29 – Enquadramento do rio Paranhana nos Pontos de Controle e concentrações de DBO correspondentes	76
Tabela 4.30 – Parâmetros hidráulicos e coeficientes de utilização da vazão de diluição (Bp), calculados para o parâmetro DBO	76
Tabela 5.1 – Critério da vazão de referência no cenário de demandas atual, com transposição 2m ³ /s.....	79
Tabela 5.2 – Critério da vazão de referência no cenário de demandas de 2015, com transposição 2m ³ /s.....	80
Tabela 5.3 – Critério da garantia de suprimento no cenário de demandas atual, com transposição 2m ³ /s	85
Tabela 5.4 – Critério da garantia de suprimento no cenário de demandas de 2015, com transposição 2m ³ /s	85
Tabela 5.5 – Critério da vazão excedente para as demandas atuais, com transposição de 2m ³ /s, com Qecológica igual a 30% da Q95	87
Tabela 5.6 – Critério da vazão excedente para as demandas de 2015, com transposição de 2m ³ /s, com Qecológica igual a 30% da Q95	87
Tabela 5.7 – Resultados do critério da vazão excedente para as demandas atuais, com transposição de 2m ³ /s, com Qecológica variando mensalmente	87
Tabela 5.8 – Resultados do critério da vazão excedente para as demandas de 2015, com transposição de 2m ³ /s, com Qecológica variando mensalmente	88
Tabela 5.9 – Níveis atuais de tratamento da indústria	89
Tabela 5.10 – Critério da garantia de suprimento no cenário atual, com transposição 2m ³ /s e nível de tratamento atual da indústria e dos lançamentos domésticos	89
Tabela 5.11 – Níveis de tratamento exigidos para cada Ponto de Controle, segundo padrões de lançamento estabelecidos pela FEPAM.....	90
Tabela 5.12 – Critério da garantia de suprimento no cenário atual, com transposição 2m ³ /s e nível de tratamento exigido pela FEPAM para indústria e setor de saneamento	90
Tabela 6.1 – Custos de tratamento de esgotos domésticos (adaptado de Santos, 2002).....	93
Tabela 6.2 – Custos de remoção de matéria orgânica de efluentes industriais (adaptado de Santos, 2002, considerando o custo de remoção de DQO igual ao de DBO)	93
Tabela 6.3 – Concentrações médias de DBO dos lançamentos brutos dos setores usuários em cada PC (mg/l).....	94
Tabela 6.4 – Q diluição necessária para os lançamentos brutos domésticos urbanos e efluentes industriais, e vazão de diluição disponível para o cenário de demandas atual e futuro (m ³ /s) – segundo o enquadramento	96
Tabela 6.5 – Reduções na vazão de diluição necessária para cada setor usuário em cada PC, REDQDILuPCn, obtidas dos níveis ótimos de tratamento encontrados (m ³ /s).....	97
Tabela 6.6 – Níveis de tratamento atuais, níveis de tratamento exigidos na bacia e obtidos pela simulação proposta e seus respectivos custos totais	97
Tabela 6.7 – Custos correspondentes aos níveis de tratamento atuais, níveis de tratamento exigidos na bacia e obtidos pela simulação proposta para o enquadramento (US\$/ano).....	98
Tabela 6.8 – Proposta de enquadramento temporário do rio Paranhana e concentrações de DBO correspondentes..	101
Tabela 6.9 – Q diluição necessária para os lançamentos brutos domésticos urbanos e efluentes industriais, e vazão de diluição disponível para o cenário de demandas atual e futuro (m ³ /s), segundo a nova proposta de enquadramento.	102
Tabela 6.10 – Níveis de tratamento atuais, níveis de tratamento exigidos na bacia e obtidos pela simulação proposta para a flexibilização do enquadramento e seus respectivos custos	102

Tabela 6.11 – Custos correspondentes aos níveis de tratamento atuais, níveis de tratamento exigidos na bacia e obtidos pela simulação proposta para o enquadramento flexibilizado (US\$/ano).....	103
Tabela 6.12 Resultados da compensação financeira e custos finais para o tratamento otimizado segundo o enquadramento aprovado (US\$/ano).....	107
Tabela 6.13 Resultados da compensação financeira e custos finais para o tratamento otimizado segundo o enquadramento flexibilizado (US\$/ano).....	107
Tabela 6.14 Resultados da compensação financeira e custos finais para o tratamento otimizado segundo o enquadramento aprovado (US\$/ano), na alternativa temporária de compensação total do setor industrial ao setor saneamento	108
Tabela 6.15 Resultados da compensação financeira e custos finais para o tratamento otimizado segundo o enquadramento flexibilizado (US\$/ano), na alternativa temporária de compensação total do setor industrial ao setor saneamento	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Enquadramento da bacia do rio dos Sinos (fonte: COMITESINOS, 2005).....	14
Figura 2.2 – Esquemática do critério da vazão referencial (extraído de Lanna, 1999).....	19
Figura 2.3 – Exemplo hipotético (extraído de Moreira e Kelman, 2003).....	21
Figura 2.4 - Perfil esquemático da concentração de matéria orgânica e oxigênio dissolvido ao longo do percurso no curso d'água, além das zonas de autodepuração (adaptado de Von Sperling, 1996).....	34
Figura 2.5 – Perfil longitudinal de concentração para DBO.....	36
Figura 3.1 – Localização da bacia do rio Paranhana	48
Figura 4.1 - Correlações entre dados médios mensais do posto Campo Bom com o posto Passo do Louro.....	57
Figura 4.2 - Correlações entre dados médios mensais do posto Campo Bom com o posto Igrejinha	57
Figura 4.3 – Gráfico duplo-acumulativo dos erros para o Posto Sander	59
Figura 4.4 – Hietogramas da precipitação espacializada por Thiessen e hidrogramas correspondentes do posto fluviométrico Passo do Louro, para o período de janeiro a julho de 1944 e de maio a dezembro de 1946.....	63
Figura 4.5 – Vazão observada e calculada na seção Passo do Louro para o período de setembro de 1943 a maio de 1944.....	65
Figura 4.6 – Discretização da bacia e definição dos Pontos de Controle	65
Figura 5.1 - Cenário atual de demandas sem qualquer tratamento de efluentes dos setores indústria e saneamento.....	80
Figura 5.2 - Cenário de demandas de 2015 sem qualquer tratamento de efluentes dos setores indústria e saneamento.....	80
Figura 5.3 - Cenário de demandas atual com nível de tratamento de 80% para o setor saneamento e nível de tratamento industrial igual ao nível atual, acrescido de 80% de abatimento da DBO remanescente	81
Figura 5.4 - Cenário de demandas de 2015 com nível de tratamento de 80% para o setor saneamento e nível de tratamento industrial igual ao nível atual, acrescido de 80% de abatimento da DBO remanescente	81
Figura 5.5 - Perfis de OD para os cenários de demandas atual sem quaisquer tratamentos e com nível atual de tratamento na bacia.....	82
Figura 5.6 - Vazões de referência Q_{95} mensais adimensionalizadas pela Q_{95} anual	83
Figura 6.1 – Curvas de custos de abatimento de DBO para esgotos domésticos e efluentes industriais.....	94
Figura 6.2 – Níveis de tratamento atuais, exigidos e propostos, segundo o enquadramento aprovado pelo COMITESINOS	98
Figura 6.3 – Custos correspondentes aos níveis de tratamento atuais, exigidos e propostos segundo o enquadramento aprovado pelo COMITESINOS	99
Figura 6.4 – Níveis de tratamento atuais, exigidos e propostos para a alternativa de enquadramento flexibilizado..	103
Figura 6.5 – Custos correspondentes aos níveis de tratamento atuais, exigidos e propostos para a alternativa de enquadramento flexibilizado	104

LISTA DE SÍMBOLOS

$BP_{n,m}$	coeficiente de uso da vazão de diluição, que corrige a vazão de diluição necessária para diluir certo lançamento no PC de montante m , para o PC de jusante n
C_{efl}	Concentração de um dado poluente no efluente lançado
$C_{f_{ur}}$	compensação final que receberão os usuários ur
$C_{i_{ur}}$	compensação inicial a ser paga a cada usuário ur (usuários que tiveram seus custos aumentados com a otimização), para que seus custos retornem ao valor do tratamento exigido pelo órgão ambiental
C_{man}	Concentração natural de um dado poluente em um dado manancial
C_{perm}	Concentração do poluente permitida para o manancial, estabelecida segundo a classe de enquadramento à qual estabelece concentrações máximas de um dado poluente para cada classe
$CREDQDILuPCn$	custo do tratamento, em US\$/m ³ , associado à uma dada redução da vazão de diluição necessária para o lançamento do usuário u no PC n
$Custoex_{up}$	custo do tratamento exigido pelo órgão ambiental, para o usuário up (usuários que tiveram seus custos reduzidos com a otimização)
$Custoex_{ur}$	custo do tratamento exigido pelo órgão ambiental, para o usuário ur
$Custofinal_{up}$	custo final do tratamento otimizado para o usuário up , já considerando as compensações financeiras
$Custofinal_{ur}$	custo final do tratamento otimizado para o usuário ur , já considerando as compensações financeiras
$Custoot_{up}$	custo resultante da otimização, para o usuário up
$Custoot_{ur}$	custo resultante da otimização, para o usuário ur
DBO_5^{20}	Demanda bioquímica de oxigênio aos 5 dias à temperatura de 20° C
DQO	Demanda química de oxigênio
E_i	economia inicial obtida na bacia
E_r	economia restante obtida pelo conjunto dos usuários up
$F.O$	Função-objetivo
Função	função que relaciona os custos de tratamento de esgotos $CREDQDILuPCn$ (em US\$/m ³ de esgoto tratado) em relação à redução da vazão de diluição, que por sua vez é diretamente proporcional à eficiência de abatimento
k_1	Coeficiente de desoxigenação
k_2	Coeficiente de reaeração
NMP	Número mais provável
OD	Oxigênio dissolvido
PC	Ponto de controle
Pf_{up}	compensação final a ser paga pelos usuários up
pH	Potencial hidrogeniônico
Pi_{up}	pagamento de compensação inicial a ser efetuado por cada usuário up
$Q_{7,10}$	Média das vazões mínimas em 7 dias consecutivos com 10 anos de período de retorno
Q_{90}	Vazão com probabilidade de ser excedida em 90% do tempo
Q_{95}	Vazão com probabilidade de ser excedida em 95% do tempo
Q_{99}	Vazão com probabilidade de ser excedida em 99% do tempo
Q_{calc}	Vazão calculada
Q_{dil}	Vazão de diluição necessária para diluir um determinado poluente para atender os limites de concentração daquele poluente na classe de enquadramento correspondente
$QDILuPCn$	vazão de diluição necessária para o lançamento do usuário u no PC n para atender ao enquadramento
Q_{efl}	Vazão do efluente
$Q_{lançuPCn}$	vazão, em m ³ /s, do efluente lançado pelo usuário u no PC n
Q_{lp}	Vazão média de longo período
Q_{obs}	Vazão observada
$REDQDILPCn$	redução mínima necessária da vazão de diluição no PC n para atender ao enquadramento
$REDQDILuPCn$	redução, em m ³ /s, da vazão de diluição necessária para o lançamento do usuário u no PC n
$REDQDILuPCm$	redução da vazão de diluição necessária para o lançamento do usuário u no PC de montante m
$REDQDILuPCn,m$	redução da vazão de diluição necessária para o lançamento do usuário u no PC de jusante n , devido ao lançamento num PC de montante m
T	mais alto nível de abatimento de DBO obtido pela tecnologia atual para o usuário u
$\Sigma C_{i_{ur}}$	somatório das compensações iniciais a serem pagas aos usuários ur

1 INTRODUÇÃO

O Rio Paranhana, localizado na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, possui grande importância para sua região ribeirinha. Verificam-se vários usos da água nesta bacia, tais como abastecimento público, abastecimento industrial, dessedentação de animais, lançamento de efluentes domésticos e industriais e de lixívia de aterros e lixões, geração de energia elétrica e, mais recentemente, aquicultura e lazer por meio das práticas de canoagem e “rafting”. Estes usos são competitivos e geram conflitos entre si, especialmente no aspecto de qualidade da água.

A mediação desses conflitos - que tendem a se agravar com o aumento da pressão populacional, aliada à necessidade de preservação ambiental que garanta a sustentabilidade dos recursos hídricos da bacia - torna necessária a intervenção do Poder Público. Esta intervenção está equacionada, no âmbito federal, por meio da Lei Federal nº. 9.433, de 1997, que prevê para o gerenciamento dos recursos hídricos instrumentos jurídicos - outorga de direitos de uso de recursos hídricos e enquadramento dos corpos d'água segundo seus usos preponderantes; e instrumento econômico – cobrança pelo uso da água, dentre outros instrumentos de gestão. No âmbito do Estado do Rio Grande do Sul, os instrumentos de gestão de recursos hídricos estão previstos na Lei nº. 10.350, de 1994.

Os instrumentos da outorga e do enquadramento já foram regulamentados e instituídos em alguns Estados brasileiros, ao passo que a cobrança – exceção feita ao rio Paraíba do Sul - está em fase incipiente no País, provavelmente pela necessidade da operacionalização dos comitês de bacia para sua deliberação e implantação e pela menor aceitação por parte dos usuários deste instrumento de gestão.

Este trabalho apresenta uma aplicação do instrumento de outorga de direitos de uso de recursos hídricos para captação de água e lançamento de efluentes, atendendo ao enquadramento de corpos d'água na Bacia do Rio Paranhana, com o intuito de contribuir na consolidação de metodologias de aplicação destes instrumentos e auxiliar em futuros projetos de gerenciamento da referida bacia.

Os critérios de outorga analisados neste trabalho são:

- critério da vazão referencial constante;
- critério da vazão referencial variável ao longo do ano e

- priorização de demandas por garantia de suprimento e por vazão excedente.

Por último, o trabalho analisa a aplicação dos critérios de outorga, e com base nela são propostas duas alternativas de tratamento de efluentes. Elas atendem ao enquadramento da bacia (COMITESINOS, 2005) e a um enquadramento flexibilizado, que poderia ser considerado como uma transição da atual situação para a situação desejada.

As duas alternativas de tratamento de efluentes foram obtidas a partir de uma proposta metodológica de otimização de tais intervenções na bacia através de análise *custo-efetividade*, procurando o atendimento às metas de enquadramento a um menor custo para a bacia como um todo. Para tornar a proposta atrativa a todos os usuários, também é proposto um esquema de compensação financeira entre eles.

Neste sentido, esta pesquisa está voltada a desenvolver e aperfeiçoar instrumentos de gestão de recursos hídricos. A hipótese desta pesquisa é que os instrumentos apresentados pela Política Nacional de Recursos Hídricos podem ser aperfeiçoados à luz de abordagens econômicas utilizadas em conjunto com os instrumentos usuais do tipo comando-e-controle.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é propor alternativas de gestão de recursos hídricos para bacias hidrográficas tendo como caso de estudo a bacia do rio Paranhana. As alternativas de gestão se circunscrevem à aplicação e análise de critérios de outorga quantitativa e qualitativa de direitos de uso da água. Esta outorga qualitativa é aplicada tendo por referência o enquadramento de corpos de água, buscando otimizar os investimentos em tratamento de efluentes na bacia como um todo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Propor e avaliar, para o cenário de demandas atual e de 2015, critérios para outorga de uso de recursos hídricos, em termos de vazão outorgável, garantias de atendimento dos usos e utilização de vazões excedentes para captação e diluição de efluentes.

- Propor e analisar diferentes medidas para atendimento às demandas simultaneamente ao enquadramento, através das seguintes medidas:
 - Flexibilização no enquadramento;
 - Alternativas otimizadas de tratamento de efluentes, com esquema de compensação financeira entre usuários.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica, dividida em tópicos, trata de temas e ferramentas que serviram de suporte à pesquisa realizada.

2.1 O porquê da Gestão dos Recursos Hídricos

Alguns recursos ambientais são razoavelmente geridos admitindo-se a propriedade privada sobre estes. O solo, por exemplo, é utilizado de acordo com as necessidades de seus proprietários, que procuram evitar sua degradação generalizada para não sofrerem com grandes quedas de produtividade agrícola, por exemplo. Ou seja, as conseqüências econômicas negativas de um mau uso do solo são sentidas pelos próprios proprietários (Lanna, 1999).

Já no caso da água, sua característica de bem fluido e móvel faz com que as conseqüências pelo seu uso, seja ele bom ou mau, sejam sentidas por toda a sociedade. Um irrigante que retira grandes quantidades de água de um manancial que atende a uma grande população ou o lançamento de efluentes tóxicos de uma indústria, por exemplo, causará impactos em todos os demais usuários deste manancial. A iniciativa privada não possui mecanismos e condições de mediar tais conflitos, de forma automática, devido aos altos custos de negociação.

Assim, para exercer o controle sobre o uso da água, atender aos usos prioritários, induzir ao uso racional da água e garantir a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos, é que deve haver o domínio do Estado sobre a água. Este exerce este domínio balizado por políticas públicas de gestão de recursos hídricos, que devem ser discutidas, promulgadas e implementadas com a participação da sociedade, de acordo com o que dispõem as políticas específicas deste recurso.

No Brasil, a Lei Federal nº. 9.433, de 1997 estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos para a gestão dos recursos hídricos. No Estado do Rio Grande do Sul, a Política Estadual de Recursos Hídricos é regida pela Lei nº. 10.350, de 1994.

2.2 Conceituação dos Instrumentos de Gestão dos Recursos Hídricos

Os instrumentos de gestão dos recursos hídricos são classificados em dois grandes grupos: instrumentos jurídicos e instrumentos econômicos.

2.2.1 Instrumentos jurídicos - “comando-e-controle”

O instrumento jurídico é uma forma de gerenciamento dos recursos hídricos na qual o Poder Público, por meio dos atos administrativos de concessão ou autorização, permite a exploração da água e exerce o controle e fiscalização sobre seu uso (Granziera, 1993 *apud* Cardoso da Silva, 1997). As formas básicas de aplicação deste instrumento são a outorga e o licenciamento. O enquadramento dos corpos d'água em classes de uso não é propriamente um instrumento, mas a representação de uma meta de qualidade a ser mantida ou alcançada (Ribeiro, 2000), apesar de que a Lei nº. 9.433/97, em seu artigo 5º, assumiu o enquadramento como um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Segundo Ribeiro (2000), os instrumentos jurídicos possuem as vantagens da familiaridade do Poder Público com sua aplicação e a maior aceitação pública, se comparado com instrumentos econômicos. Leal (1998) também cita o fato de que os instrumentos do tipo mandato e controle são mais efetivos na coerção de efeitos danosos que excedam os padrões ambientais desejados.

As desvantagens desta forma de gerenciamento estão associadas à ineficiência econômica na alocação da água ou dos lançamentos de efluentes, se comparada aos instrumentos econômicos. Leal (1998) enaltece que o ideal é a combinação entre instrumentos jurídicos e econômicos, citando o fato de que os segundos influenciam a alocação ótima dos recursos entre os agentes, porém a escala de utilização e o nível de poluição aceitável são mais facilmente impostos por padrões de lançamento e normas regulatórias (instrumentos jurídicos).

2.2.2 Instrumentos econômicos

Estes instrumentos têm o apelo da eficiência econômica associada à obtenção de uma situação ótima que contempla os custos privados do usuário e os custos para a sociedade (externalidades). Estes instrumentos se caracterizam pela sua maior eficiência econômica em

relação aos instrumentos do tipo comando-e-controle. Cabe salientar a vantagem da obtenção de recursos advindos dos instrumentos econômicos (especialmente a cobrança) para a implementação de medidas de recuperação ambiental ou aumento de oferta de água. Destacam-se entre os instrumentos econômicos a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e pela poluição e o mercado de direitos de uso da água e de direitos de poluir (Turner *et al*, 1994).

Os problemas relacionados a esta forma de gerenciamento são de ordem prática. Na aplicação desses instrumentos o Poder Público encontra dificuldades quanto às informações disponíveis para atingir a situação ótima: informações de custos privados e das externalidades, além de informação de funções de demanda. A aceitação por parte da sociedade dos instrumentos econômicos, talvez pelo desconhecimento da natureza destes instrumentos, é também uma dificuldade considerável para sua implementação.

Os instrumentos de gestão de recursos hídricos também podem ser classificados em instrumentos de planejamento, como os Planos de Recursos Hídricos e o Enquadramento dos corpos d'água em classes; e instrumentos de gestão, como a outorga de direitos de uso e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

2.3 Aspectos Históricos e Legais do Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil

2.3.1 Aspectos legais sobre recursos hídricos

O Código de Águas de 1934, instituído pelo decreto nº. 24.643, de 10 de julho de 1934, foi o instrumento legal pioneiro na gestão de águas no Brasil. Contemplando as incipientes situações de conflitos de uso das águas, o Código, em seu artigo 43, estabelece: “*as águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene sem a existência de concessão administrativa, no caso de utilidade pública, e, não se verificando esta, de autorização administrativa, que será desconsiderada na hipótese de derivações insignificantes...*”.

A Constituição Federal de 1988 estabelece em seu artigo 20 que, entre os bens da União, estão “*os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos do seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais*”.

Já o artigo 26 inclui, entre os bens dos Estados, “as *águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito*, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União”. Assim, o direito privado ou ripariano sobre as águas não existe no Brasil.

A Lei Federal nº. 9.433, de 1997, dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e reforça o domínio público da água, em seu artigo 1º. O parágrafo 4º do artigo 1º da mesma lei, diz que “*A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas*”.

Os instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos previstos na Lei nº. 9.433/1997 são os seguintes: Planos de Recursos Hídricos; Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo seus usos preponderantes; Outorga de direito de uso de recursos hídricos; Cobrança pelo uso de recursos hídricos e Sistema de Informações sobre recursos hídricos.

No artigo 12, a Lei nº. 9.433/1997 apresenta os usos sujeitos à outorga. Entre estes usos, estão captações, derivações, lançamentos e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d’água.

No artigo 13, a Lei nº. 9.433/1997 condiciona a outorga às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e ao enquadramento dos corpos d’água.

O CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos -, previsto pela Lei nº. 9.433/1997 e regulamentado originalmente pelo Decreto nº. 2.612, de 3 de julho de 1998, e depois pelo Decreto nº. 4.613, de 11 de março de 2003, ocupa a instância mais alta na hierarquia do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Possui, entre outras atribuições, a competência de definir diretrizes complementares da Política Nacional de Recursos Hídricos e estabelecer critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos e para a cobrança por seu uso. O CNRH atua desde junho de 1998 e, sendo um órgão consultivo e deliberativo, possui integrantes do Poder Público, dos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, dos usuários de recursos hídricos e representantes de organizações civis, técnicas e não-governamentais das áreas de recursos hídricos e meio ambiente.

A Lei nº 9.984, de 2000, trata da criação da Agência Nacional de Águas (ANA), que tem como algumas atribuições outorgar os direitos de uso de recursos hídricos em corpos de água

de domínio da União, implementar, controlar e avaliar os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e praticar a supervisão, controle e avaliação das ações que decorrem do cumprimento da legislação federal.

Encontra-se em análise no Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, o Projeto de Lei nº. 1616 (acessada em www.cnrh-srh.gov.br, em 9 de maio de 2005), que dispõe sobre a gestão administrativa e a organização institucional do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, criado pela Lei nº. 9.433/1997; fixa dispositivos para a criação e a operação das Agências de Bacia, dispõe sobre o regime de racionamento. Em seu artigo 2º, o PL nº. 1616 dispõe que *“Art. 2o Respeitado o princípio de que cada bacia hidrográfica constitui a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a outorga, mediante ato administrativo, compete ao respectivo ente federativo, em relação aos corpos de água de seu domínio”*.

Em seu artigo 15, o PL nº. 1616 dispõe que *“Os Planos de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas deverão considerar as outorgas existentes em suas correspondentes áreas de abrangência e indicar às autoridades gestoras, quando for o caso, a necessidade de realização de ajustes e adaptações nos respectivos atos de outorga”*.

Em seu artigo 16, o PL nº. 1616 determina que *“Caso não exista o Plano da Bacia Hidrográfica, o poder outorgante limitará a vazão outorgável, através de atos administrativos de sua competência, observando as características hidrológicas do corpo hídrico, sua respectiva bacia hidrográfica e as normas ambientais vigentes”*.

Aparece então uma questão dúbia na legislação federal. Ao mesmo tempo em que a Lei nº. 9.433/1997 adota a bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento, a Constituição Federal imprime diferentes dominialidades em rios de uma mesma bacia hidrográfica e o Projeto de Lei nº. 1616 dispõe que compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal outorgar, mediante ato administrativo, o direito de uso dos recursos hídricos sob seus respectivos domínios. O PL nº 1616 também estabelece que *“Enquanto não existir o Plano de Bacia Hidrográfica a que se refere o art. 3o desta Lei, o poder de outorga do direito de uso de recursos hídricos, em bacia hidrográfica cujo rio principal tenha seu exutório em águas de outra dominialidade, será exercido mediante o atendimento dos limites mínimos de vazão e máximos de concentração de poluentes, medidos na confluência dos respectivos corpos*

hídricos, conforme quantitativos a serem estabelecidos, em caráter provisório, de forma articulada, pelas respectivas autoridades outorgantes”.

Assim, fica premente a necessidade de articulação entre União e Estados na harmonização dos instrumentos de gestão em bacias hidrográficas compartilhadas, em especial no que diz respeito aos critérios de outorga. Neste sentido, Kelman (1997) afirma que as diferentes dominialidades em rios de uma mesma bacia torna necessária a criação de um sistema integrado de outorga, que obrigue consultas mútuas entre os poderes públicos outorgantes.

Na esfera estadual, algumas unidades da Federação se anteciparam à Lei nº. 9.433 e aprovaram suas leis, a exemplo de São Paulo, de Minas Gerais e do Rio Grande do Sul. Especificamente sobre a legislação gaúcha, a Lei nº. 10.350, de 1994, dispõe sobre a criação do Sistema Estadual de Recursos Hídricos, designando a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA) como órgão gestor dos recursos hídricos no Estado. Os instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos na legislação gaúcha são (Lei nº. 10.350/1994, Capítulo IV):

- Outorga de direitos de uso de recursos hídricos,
- Cobrança pelo uso dos recursos hídricos,
- Rateio de custo de obras de uso e proteção dos recursos hídricos.

Os planos de recursos hídricos de bacias hidrográficas estão previstos na legislação do Rio Grande do Sul (artigos 26 a 28), mas não são explicitados como instrumentos de gestão. Da mesma forma o enquadramento dos corpos d'água das bacias em classes de uso não é citado como um instrumento de gestão, mas é mencionado na legislação (artigo 19, inciso V e artigo 20, inciso III). Um instrumento de gestão previsto na legislação gaúcha e que não consta da legislação federal é o rateio de custo de obras de uso e proteção dos recursos hídricos.

Especificamente sobre o instrumento da outorga, o Decreto nº. 37.033, de 1996, a regulamenta no Estado do Rio Grande do Sul, estabelecendo como usos passíveis de outorga *"qualquer utilização, serviço ou obra em Recurso Hídrico, independentemente de haver ou não retirada de água, barramento ou lançamento de efluentes, que altere seu regime ou suas condições qualitativas ou quantitativas"*.

2.3.2. Aspectos em Qualidade das Águas

O Código de Águas de 1934 contempla a poluição hídrica, considerando “*ilícita a conspurcação ou contaminação de águas por pessoas que não as consomem*”. O Código Penal, ainda vigente, datado de 1940, também estabelece proteção à água potável contra “*envenenamento, corrupção e poluição*”.

O Decreto Federal nº 50.877, de 1960, é pioneiro por se constituir na primeira legislação federal específica sobre poluição das águas. O decreto exige tratamento de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, domiciliares ou industriais, antes de seu lançamento, além de prever a classificação das águas segundo seus usos preponderantes, que teve um critério regulamentado posteriormente pela Portaria 13/MINTER, de 1976, classificação esta precursora da Resolução nº. 20/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), recentemente substituída pela Resolução nº. 357/2005 do CONAMA.

A Lei nº. 6.938, de 1981, define a Política Nacional de Meio Ambiente, e traz como instrumentos para a proteção do meio ambiente o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, o zoneamento ambiental, a avaliação de impactos ambientais e o licenciamento ambiental de atividades poluidoras.

O CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, criado pela Lei nº. 6.938/1981 e regulamentado pelo Decreto nº. 3.942/2001, possui atribuições de estabelecimento de critérios e normas para aplicação do instrumento de licenciamento de atividades poluidoras, dentre outras competências. Dentre estas normas, constam o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Entre as resoluções aprovadas posteriormente pelo CONAMA, destaca-se a Resolução nº. 20, de 1986, que atualizou e alterou os critérios de classificação dos corpos de água sob domínio da União, anteriormente classificados pela Portaria MINTER nº. 013/1976.

A Resolução nº. 20/1986, mais restritiva e abrangente que a anterior, por contemplar águas salinas e salobras, pode ser considerada o principal instrumento de gestão da qualidade dos recursos hídricos, utilizada em conjunto com os instrumentos de enquadramento e outorga. Isto fica evidente ao analisar o artigo 5º da Lei nº. 9.433/97, que prevê o enquadramento como um instrumento de gestão dos recursos hídricos, estabelecendo padrões de qualidade baseados na Resolução CONAMA nº 20/1986, segundo seus usos preponderantes.

Em 17 de março de 2005, o CONAMA aprovou a Resolução nº. 357, que revogou a Resolução nº. 20/1986, mantendo as mesmas classes para as águas doces, porém aumentando o número de parâmetros contemplados nos limites de concentração e de padrões de lançamento, incluindo hidrocarbonetos e agrotóxicos, além de outras alterações.

A Tabela 2.1 a seguir apresenta as classes de uso estabelecidas pela resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces, segundo seus usos preponderantes.

Tabela 2.1 – Classes de uso preponderantes para águas doces definidas pela Resolução CONAMA nº 357/2005

Usos preponderantes		Classes de águas doces				
		E	1	2	3	4
Abastecimento doméstico	com desinfecção					
	após tratamento simplificado					
	após tratamento convencional					
	após tratamento convencional ou avançado					
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas						
Proteção às comunidades aquáticas						
Harmonia paisagística						
Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho)						
Recreação de contato secundário						
Irrigação	hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película					
	de hortaliças e plantas frutíferas					
	de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras					
Aqüicultura e pesca						
Dessedentação de animais						
Navegação						

A Tabela 2.2 a seguir apresenta os limites de concentração de alguns parâmetros, de acordo com a Resolução CONAMA nº. 357/2005.

Tabela 2.2 – Limites de concentração para alguns parâmetros segundo a resolução CONAMA nº. 357/2005

Classe:		Especial	1	2	3	4
Coliformes (NMP/100ml)	fecais	Ausentes	<200	<1000	<4000	-
	totais	Ausentes	<1000	<5000	<20000	-
pH		-	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
OD (mg/l)		-	>6	>5	>4	>2
DBO ₅ (mg/l)		Ausente	<3	<5	<10	-
Sólidos dissolvidos totais		Ausentes	500	500	500	-

Uma inovação da Resolução nº. 357/2005 é que, em seu artigo 26, dispõe que “*Os órgãos ambientais federal, estaduais e municipais, no âmbito de sua competência, deverão, por meio de norma específica ou no licenciamento da atividade ou empreendimento, estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos, listadas ou não no art. 34, desta Resolução, de modo a não comprometer as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, estabelecidas pelo enquadramento para o corpo de água*”. Este parágrafo contempla a etapalização da qualidade, conceito apresentado por Von Sperling (1996b), que preconiza uma melhora gradual na qualidade do corpo hídrico para que o alcance das metas de qualidade previstas no enquadramento seja viabilizado.

2.4 Enquadramento dos Corpos de Água

O enquadramento é definido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 como “*estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo*”.

Segundo a Resolução CNRH nº 12/2000, cabe às Agências de Água, dentro de suas áreas de atuação, propor aos respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica o enquadramento de corpos de água em classes segundo os usos preponderantes, com base nas respectivas legislações de recursos hídricos e ambiental. Na ausência de Agência de Água, as propostas poderão ser elaboradas pelos consórcios ou associações intermunicipais de bacias hidrográficas, com a participação dos órgãos gestores de recursos hídricos em conjunto com os órgãos de meio ambiente.

Para situar o processo de enquadramento na gestão dos recursos hídricos, deve-se salientar que ele é apenas uma das etapas do Plano de Recursos Hídricos de uma bacia. A Lei nº. 9.433/97, em seu artigo 7º, dispõe sobre o conteúdo mínimo para um Plano de Bacia:

- “1. diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos;*
- 2. análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo;*
- 3. balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais;*

4. *metas de racionalização de uso, aumento de quantidade e melhoria de qualidade dos recursos hídricos disponíveis;*
5. *medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos, e projetos a serem implantados, para o atendimento das metas previstas;*
6. *(VETADO)*
7. *(VETADO)*
8. *prioridades para outorga de direitos de uso dos recursos hídricos;*
9. *diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos;*
10. *propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição, com vistas à proteção dos recursos hídricos.”*

O enquadramento qualitativo dos recursos hídricos situa-se na etapa nº 4, especificamente na meta de melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis. Lanna (1999) também comenta sobre a possibilidade de um “enquadramento quantitativo”, pelo qual são estabelecidas as condições quantitativas de disponibilização dos recursos hídricos aos seus usuários. Elas são traduzidas por objetivos estratégicos a serem alcançados, visando a garantias de suprimento quantitativo a serem fornecidas aos usuários de água. Este processo também é contemplado na etapa nº 4, nas “*metas de racionalização de uso, aumento de quantidade*”. Este enquadramento quantitativo tem a função de alocação eficiente dos volumes de água, contemplando também as prioridades de atendimento às demandas quantitativas, na forma de hierarquização das demandas por prioridade.

O enquadramento qualitativo estabelece a meta de qualidade da água a ser alcançada, que será efetivamente promovida pelos instrumentos de outorga e de licenciamento. No estabelecimento desta meta, por negociação social, devem ser considerados custos e benefícios não somente sob o ponto de vista econômico, que devem ser comparados para justificar o enquadramento em uma ou outra classe. Também devem ser consideradas restrições de ordem física, tecnológica e financeira (Lanna, 1999). Neste sentido, Von Sperling (1998) analisou processos de tratamento de efluentes necessários para o atendimento aos limites de concentração de alguns parâmetros constantes da resolução CONAMA nº. 20/1986, mostrando que, especialmente para DBO, fosfato e coliformes a disponibilidade de tecnologias de tratamento é insuficiente para atender aos padrões exigidos pelo CONAMA para vazões de diluição baixas (capacidade de assimilação do rio baixa em relação aos lançamentos).

Um exemplo de um processo de enquadramento é apresentado para a bacia do rio dos Sinos, na qual o rio Paranhana está inserido. O enquadramento foi discutido dentro do Comitê de Bacia Hidrográfica – Comitê do rio dos Sinos (COMITESINOS) – e, para a elaboração da proposta, foram utilizados questionários, entrevistas e assembléias de votação. Este processo iniciou em 2000 e foi concluído no ano de 2003, resultando nas classes apresentadas na Figura 2.1.

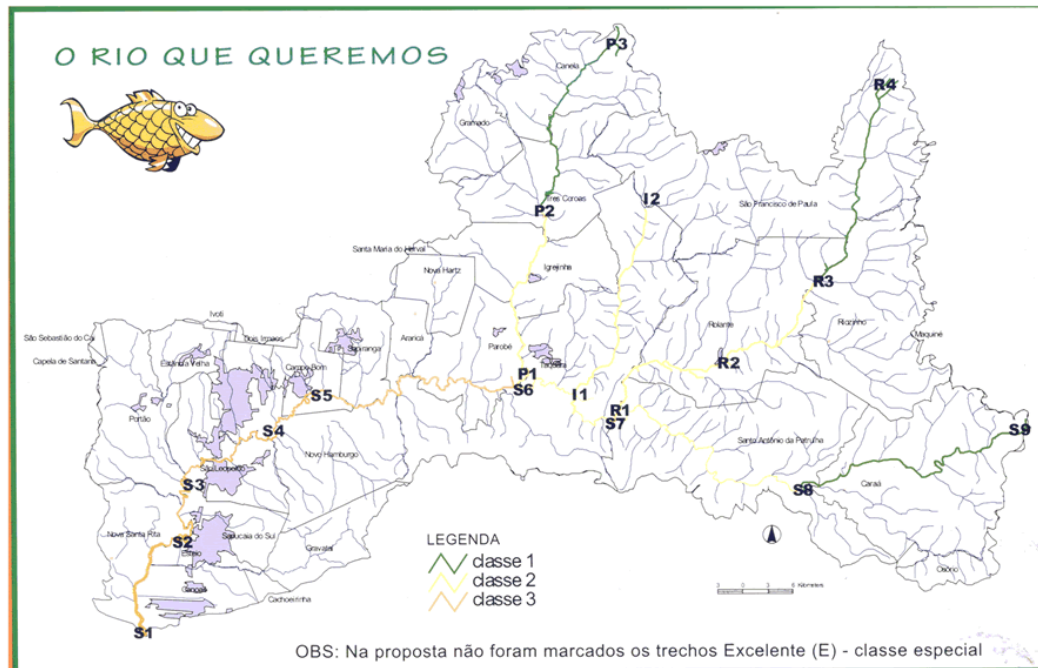


Figura 2.1 – Enquadramento da bacia do rio dos Sinos (fonte: COMITESINOS, 2005).

Segundo Leeuwestein e Monteiro (2001), para acompanhamento da efetividade das metas estabelecidas pelo enquadramento, os órgãos gestores devem monitorar os indicadores de qualidade de água em cada trecho do corpo hídrico. Uma vez identificadas as desconformidades, devem ser tomadas medidas que permitam identificar as causas. Segundo os mesmos autores, a cada dois anos os órgãos gestores devem elaborar relatórios a serem submetidos aos Conselhos de Recursos Hídricos, identificando os trechos que não atingiram as metas estabelecidas e as respectivas causas.

2.5 Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos

2.5.1 Conceituação e Modalidades de Outorga

A outorga é um instrumento jurídico pelo qual o Poder Público, através do órgão que possui a devida competência legal, confere a possibilidade de usar privatamente um recurso (Lanna, 1999). A Lei Federal nº. 9.433/1997 estabelece o caráter de bem público da água no País.

Assim, seu uso passa a depender do instrumento da outorga *quantitativa* de direitos de uso concedida ou autorizada pelo Poder Público aos usuários.

Outra modalidade de outorga é a de lançamento de efluentes em um corpo de água. Ela está associada e condicionada ao enquadramento dos corpos previsto no Plano de Recursos Hídricos da Bacia, ou, na ausência deste, conforme artigo 42 da Resolução CONAMA nº. 357/2005, que estabelece que “*Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2 (...)*”. Esta modalidade de outorga pode ser definida como outorga *qualitativa* de direitos de uso de recursos hídricos, ou outorga de lançamento de efluentes.

O instrumento da outorga está definido na Lei Federal nº. 9.433/97, artigo 5º, como um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. A seção III da referida Lei dispõe exclusivamente sobre o instrumento da outorga de direitos de uso de recursos hídricos.

2.5.2 Direitos de Uso da Água

Existem várias formas de alocação de direitos de uso da água, sendo as mais comuns a outorga ripária, a propriedade prévia comercializável e a outorga controlada (ou administrativa).

A outorga ripária, ou doutrina ripária, é conhecida como a outorga vinculada à terra, tendo a água características de bem privado. Assim, fica definido que o direito sobre a água pertence ao proprietário adjacente ao curso d’água (Wurbs e Walls, 1989 apud Ribeiro, 2000). É um sistema histórico, de pouca eficiência na alocação da água.

Há também a doutrina da “propriedade prévia”, também chamada de “direito de antiguidade”, que atribui prioridade de uso a quem utiliza a água há mais tempo (Kelman, 1997).

A propriedade prévia comercializável transmite a água um valor econômico. Esta outorga é vinculada ao seu detentor, podendo ser comercializada de acordo com as leis de oferta e demanda. Fica evidente a maior eficiência econômica do uso da água nesta modalidade de alocação de direitos de uso, se comparada à doutrina ripária. Apesar de sua eficácia econômica, este sistema não trata o recurso de forma integrada, com obediência às prioridades

de uso, surgindo tendências de monopólio natural a partir de agentes com maior poder econômico, que terão suas próprias prioridades de uso da água (Cardoso da Silva, 1997).

A outra forma de alocação dos direitos de uso da água é a outorga controlada, ou administrativa. Neste sistema, o direito é concedido pelo órgão gestor, segundo aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Este mecanismo tende a aumentar a eficiência econômica global do uso da água, pois a análise do poder outorgante é realizada numa ótica de planejamento integrado da bacia (Ribeiro, 2000).

Os Estados Unidos evoluíram de sistemas de doutrina ripária (parte leste) e propriedade prévia (oeste), para sistemas de concessão de licenças pelas agências estaduais. Isto ocorreu na tentativa de diminuir os contenciosos entre usuários. Esta prática, que prioriza usos individuais, tem dificultado a gestão integrada no país (Matthews, 1994 apud Leal, 1998). A evolução deste sistema, aliada às crescentes demandas pelo uso da água, estão efetivando o surgimento de um mercado de águas, onde os direitos de uso são negociados independentemente da propriedade das terras (Leal, 1998).

No Brasil, o modelo de gestão de recursos hídricos estipula como forma de alocação dos direitos de uso a outorga por meio de controle ao usuário (restrições de retirada ou lançamento de efluentes) e de controle por objetivos (vazões mínimas residuais e enquadramento dos rios). Neste sentido, a Lei Federal nº 9.433/1997, em seu artigo 13, dispõe que *“Toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso”*.

No artigo 13, a Resolução CNRH nº. 16/2001, estabelece que *“a emissão de outorga obedecerá, no mínimo, às seguintes prioridades:*

I – o interesse público;

II – a data de protocolização do requerimento (...).”

2.5.3. Critérios de Outorga

Lanna (1999) propõe uma classificação para os critérios de outorga, conforme a Tabela 2.3 a seguir.

Tabela 2.3 – proposta de classificação de critérios de outorga (adaptado de Lanna, 1999).

Classes de Outorga	Sub-Classes	Tipos
Vazão Referencial		
Priorização das Demandas	Pelo Tipo de demanda	Natureza da demanda
		Natureza e quantidade
		Expressão econômica, política e outras
Pela Garantia de Suprimento		

- Critério da Vazão Referencial:

O critério da Vazão Referencial estabelece que a vazão máxima outorgável é função de uma vazão de referência, geralmente extraída de percentis da curva de permanência ou a partir da $Q_{7,10}$, média das vazões mínimas em 7 dias consecutivos com 10 anos de período de retorno. Supõe-se que a vazão ecológica a ser mantida no rio para proteção ambiental esteja prevista neste total, como uma parcela da vazão de referência. A parcela restante da vazão de referência é a vazão disponível para outorga, ou *vazão outorgável*.

Diversos autores demonstram que não há evidências científicas em afirmar que uma parcela da vazão de referência esteja atendendo aos requisitos ambientais desejados, sejam eles muito ou pouco restritivos. A quantificação da vazão ecológica por meio de frações da $Q_{7,10}$ ou de vazões extraídas da curva de permanência (Q_{90} , Q_{95}) são classificadas por Lanna e Benetti (2000) como métodos hidrológicos de determinação da vazão ecológica. Estes métodos não contemplam aspectos ambientais nesta quantificação. Os métodos de classificação de habitats, como o IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*) são classificados por Sarmiento e Pelissari (1999) como os mais completos em termos de determinação da vazão ecológica, e seu uso no Brasil ainda é incipiente. Devido a esta falta de estudos sobre métodos de classificação de habitats no País, Lanna e Benetti (2000) sugerem os métodos hidrológicos para uso imediato pelo Poder Público, pela sua fácil implementação, em especial métodos que permitam a variação da vazão ecológica ao longo do ano. A variação da vazão ecológica mensalmente assegura uma certa manutenção do regime natural de vazões do rio. Assim, um dos métodos sugeridos é o da Curva de Permanência Mensal. Neste sentido, uma tendência atual entre os pesquisadores da área é tentativa de manutenção, em menor escala, do regime natural de vazões do rio, conceito conhecido como *hidrograma ecológico* (Collischonn e Agra, 2004), que atenderia aos pulsos de vazão necessários para a manutenção dos ecossistemas do rio e das suas várzeas de inundação, bancos de areia e lagoas marginais.

No Estado do Rio Grande do Sul, pelo artigo 5º do Decreto nº. 37.033/1996, a FEPAM deve definir as quantidades mínimas de água necessárias para manutenção da vida nos ecossistemas aquáticos, para cada Bacia Hidrográfica. Neste sentido, a FEPAM encomendou estudo técnico para definição de metodologias para estimativa de vazões ecológicas no Rio Grande do Sul (Lanna e Benetti, 2000).

O fato de se utilizar como vazão de referência frações de vazões de estiagem ($Q_{7,10}$, Q_{90} , Q_{95}) não é garantia de que a disponibilidade de água no rio será sempre maior que tais vazões de referência. Medeiros (2000) demonstrou que, especialmente em seções com pequena área de drenagem, a adoção de vazões outorgáveis iguais ou superiores a 70% da $Q_{7,10}$ ocasionam algum risco de não haver disponibilidade hídrica no curso d'água para atender às demandas outorgadas.

Por outro lado, a adoção de vazões de estiagem como vazões de referência faz com que na maior parte do tempo uma vazão considerável não seja utilizada, ocasionando reclamações dos usuários no sentido do aumento da vazão outorgada (Pereira, 1996). Uma alternativa pode ser a divisão do direito outorgado em duas partes: uma parcela com garantia máxima, baseada em alguma estatística como a $Q_{7,10}$ e outra parcela com menor nível de garantia, englobando as incertezas hidrológicas (Leal, 1998). Esta sistemática, porém, acarreta dificuldades de implementação de ordem institucional, burocrática e financeira (Pereira, 1996), além de dificuldades no controle dos usos, por meio de ações de fiscalização.

Uma alternativa seria aumentar a vazão outorgável para usos menos prioritários para frações da Q_{80} , por exemplo. Esta alternativa abre a possibilidade de um maior número de usuários se instalarem na bacia, porém com garantias menores de atendimento. No caso da irrigação, uma maior vazão outorgável aumenta a área irrigável em uma bacia, mas a garantia menor associada a esta vazão reduz, no longo prazo, a produtividade média das culturas na bacia. Neste sentido, Cardoso da Silva (1997) utilizou uma abordagem econômica na determinação das prioridades de atendimento a diversos usuários irrigantes na bacia do Rio Branco/BA, analisando valores de vazão outorgável ótima agregados a diversos níveis de prioridade. A mesma metodologia proposta foi aplicada por Pante *et al* (2005) em um trecho de curso d'água no Estado de Goiás, apresentando resultados entre a Q_{74} e Q_{86} para diversas culturas.

A Figura 2.2 apresenta o funcionamento do critério da vazão de referência.

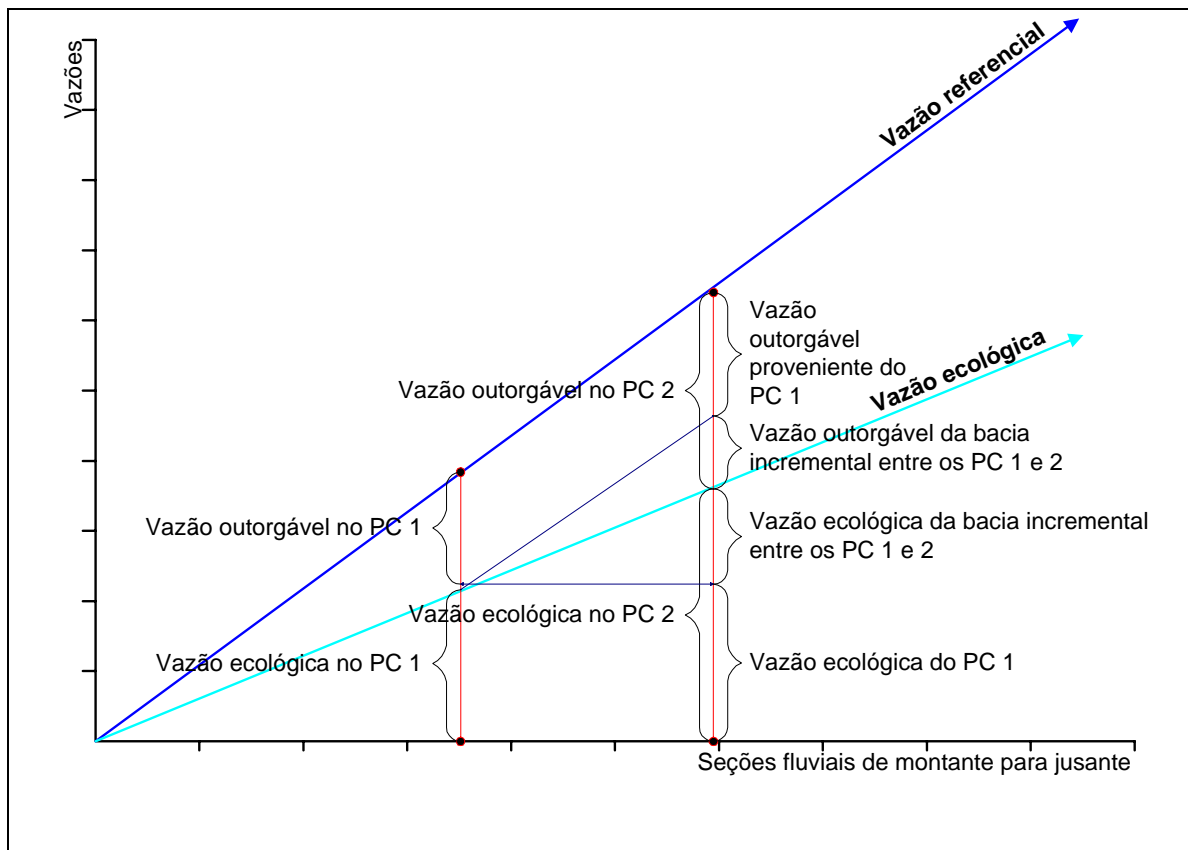


Figura 2.2 – Esquematização do critério da vazão referencial (extraído de Lanna, 1999).

Na Figura 2.2, a vazão de referência no PC1 está dividida em duas partes: uma parcela reservada para vazão ecológica e seu complemento, que é a vazão outorgável no PC1 (Ponto Característico ou Ponto de Controle 1 – É um ponto de controle definido pelo órgão gestor dos recursos hídricos, baseado em intervenções pontuais no rio). No PC2, a vazão outorgável é igual à vazão de referência no PC2 descontada da vazão ecológica do PC1, da vazão ecológica da bacia incremental entre os PC's 1 e 2 e da vazão outorgável no PC1. Caso nem toda a vazão outorgável no PC1 seja efetivamente outorgada, o Poder Público pode transferir esse excedente para o PC2, aumentando a vazão outorgável neste PC.

Quando o poder público não conhece todos os usuários da bacia, pode ser adotado, por segurança, o critério da vazão referencial baseado apenas nas vazões incrementais de referência. Este critério garante que novos usuários concentrados nos diversos PC's tenham alguma vazão outorgável reservada para seus usos, independente do desconhecimento atual destes usos por parte do Poder Público.

- Critério de Priorização das Demandas

Lanna (1999) subdivide o critério de priorização de demandas em dois: pelo tipo de demanda e pela garantia de suprimento.

No critério de tipo de demanda, são contempladas prioridades de uso segundo aspectos de natureza do uso, expressão econômica, quantidade consumida, etc. Prioridades diversas resultariam em garantias de atendimento diversas. Este critério consegue contemplar o disposto na Lei nº. 9.433, que em seu artigo 1º dispõe que “em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais”.

No critério de garantia de suprimento, uma vez estabelecida a disponibilidade hídrica, os montantes são outorgados em diferentes níveis de garantia, sendo que os usos prioritários têm garantias maiores. Para o atendimento ao disposto na Constituição Federal este critério pode ser utilizado adotando-se garantia de atendimento máxima ao consumo humano.

Na literatura, encontram-se alguns trabalhos analisando o critério de priorização das demandas para a vazão outorgada. Pereira e Lanna (1996) aplicaram um critério de quantidade de falhas pré-determinadas para cada uso na bacia do Rio dos Sinos, que então foi comparado ao critério da vazão referencial, mostrando as vantagens da outorga da vazão excedente na medida em que permite um maior uso das disponibilidades hídricas.

- Critério de outorga baseado na alocação econômica da água

Moreira e Kelman (2003) apresentam um modelo de priorização de demandas de natureza econômica, baseado no custo de oportunidade dos usuários. A partir deste modelo, os autores apresentam um sistema de compensação financeira aos usos racionados, de forma a maximizar o benefício econômico da bacia e promover justiça social entre os usuários.

Pelo modelo proposto, o usuário declara ao Poder Público seu custo de oportunidade (qual a sua disposição a pagar por unidade de água, ou seja, qual o benefício econômico que ele obtém por unidade de água). Quanto maior este valor, maior sua prioridade, formando assim um *ranking* de prioridades. Nos períodos de escassez, os usuários de menor prioridade são racionados. É importante destacar que os usos prioritários (consumo humano, dessedentação animal e vazões ecológicas) devem estar acima desta lista de prioridades, pois se tratam de usos que, em situações de escassez, devem ser mantidos em detrimento dos demais.

O modelo, assim proposto, causa injustiças, pois exclui usuários com menores custos de oportunidade, em geral usuários mais frágeis economicamente. Os autores então propõem um sistema de compensação financeira, onde, nos períodos de escassez, os usuários racionados são compensados pelos usuários não racionados. A Figura 2.3 apresenta um exemplo hipotético proposto pelos autores para ilustrar o modelo.

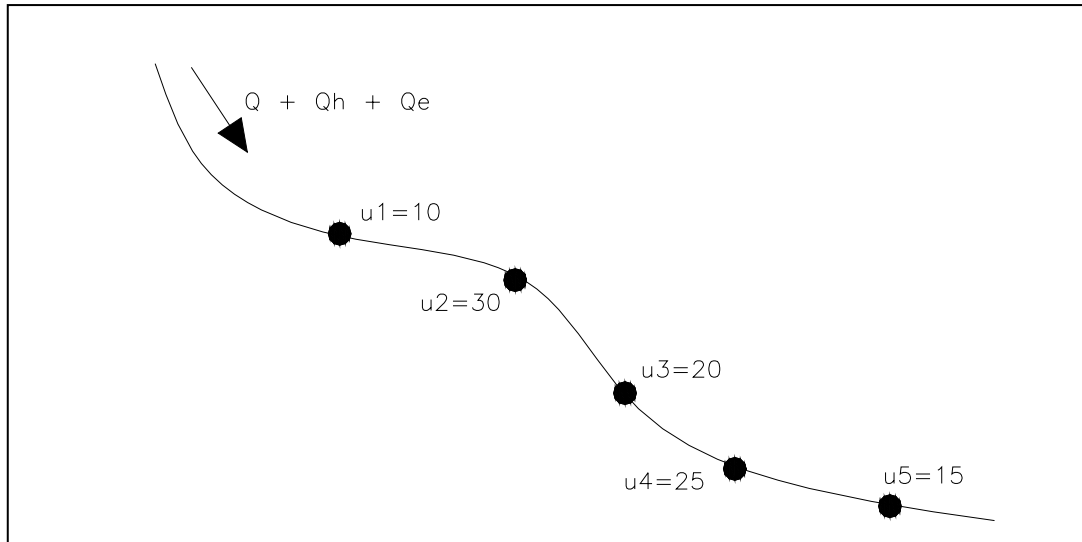


Figura 2.3 – Exemplo hipotético (extraído de Moreira e Kelman, 2003).

Na Figura 2.3 Q_h é a vazão para abastecimento humano e dessedentação de animais, Q_e é a vazão a ser mantida no rio e Q a vazão disponível para outros usos. Cada usuário tem como demandas as vazões indicadas na figura. A Tabela 2.4 apresenta os benefícios unitários de cada usuário e o total de demandas (100) que, para uma vazão disponível de 80 configura uma situação de escassez.

Tabela 2.4 – custos de oportunidade e atendimentos no exemplo hipotético (extraído de Moreira e Kelman, 2003).

Usuário i	Benefício unitário b_i	prioridade	demanda U_i	Volume atendido q_i	Benefício econômico $b_i q_i$
1	5	4	10	5	25
2	7	3	30	30	210
3	10	1	20	20	200
4	8	2	25	25	200
5	3	5	15	0	0
total			D=100	Q=80	635

Os autores mostram que o benefício econômico total (635) é maior que os benefícios gerados por outros critérios de alocação para o exemplo em estudo.

A proposta dos autores para compensação financeira parte de um princípio de cobrança em período de escassez aos usuários atendidos. Os valores arrecadados são então rateados entre todos os usuários da bacia, racionados ou não, na proporção dos seus benefícios potenciais. O valor a ser cobrado é o custo de oportunidade do chamado “usuário-limite”, que é o usuário parcialmente racionado. A Tabela 2.5 apresenta os resultados do sistema de cobrança e compensação financeira.

Tabela 2.5 – Sistema de compensação financeira do exemplo hipotético (extraído de Moreira e Kelman, 2003).

Usuário i	prioridade	Benefício unitário b_i	Demanda u_i	Volume atendido q_i	Benefício econômico $b_i q_i$	Custo da água $p q_i$	Comp. Financeira Y_i	Resultado final
1	4	5	10	5	25	25	45	45
2	3	7	30	30	210	150	129	189
3	1	10	20	20	200	100	80	180
4	2	8	25	25	200	125	105	180
5	5	3	15	0	0	0	41	41
total			D=100	Q=80	635	pQ=400	400	635

Pode-se verificar, no exemplo proposto, que todos os usuários atingiram um benefício igual a 90% dos seus benefícios potenciais, o que dá um caráter de justiça social ao modelo proposto. Para comprovar a maximização do benefício total da bacia, basta verificar que se todos os usuários tivessem sido racionados linearmente na situação de escassez analisada, seus benefícios seriam de 80%, pois a disponibilidade só atende a 80% das demandas totais.

Moreira (2001, *apud* Moreira e Kelman, 2003) generalizou o modelo descrito acima para topologias de bacia complexas, contemplando vazões incrementais entre usuários.

2.5.4 Outras considerações sobre outorga

Uma dificuldade na implementação de critérios de priorização das demandas ocorre quando usuários de maior prioridade excluem da bacia usuários de menor prioridade. Lanna (1999) comenta sobre uma situação hipotética em que um aumento de população faz com que volumes de água, atualmente outorgados a usos menos prioritários tenham de ser realocados, determinando alterações em outorgas já concedidas. Uma situação deste tipo evidencia a necessidade da elaboração de Planos de Recursos Hídricos que fixem critérios e orientem a emissão das outorgas. Os Planos de Recursos Hídricos, em seu conteúdo mínimo, devem conter análise das alternativas de crescimento demográfico e de evolução das atividades produtivas da bacia, que subsidiem a definição de prioridades de uso e critérios de outorga.

Uma dificuldade encontrada pelos órgãos gestores é quanto ao atendimento a pedidos de outorga em bacias cujo Plano de Recursos Hídricos não existe. Estas outorgas pontuais são analisadas segundo critérios de outorga padronizados pelo órgão gestor para bacias que não possuem Planos. O órgão geralmente desconhece os outros usuários da bacia. Assim, na ausência de Planos de Recursos Hídricos, os órgãos gestores devem realizar campanhas de reconhecimento dos usuários (cadastros), para que os preceitos legais quanto aos usos prioritários sejam atendidos.

Quando não se dispõe de dados cadastrais de usos de recursos hídricos (dados *primários*), pode-se partir para determinação dos volumes utilizados por meio de dados *secundários*. Este levantamento é realizado a partir de censos demográficos e setoriais (industriais, agropecuários), com as demandas sendo estimadas a partir de consumos específicos de água (consumo por habitante, por unidade de produto fabricado ou por hectare irrigado, por exemplo).

A União e os Estados adotam o critério da vazão referencial para a vazão máxima outorgável. Frações da Q_{90} são adotadas em Alagoas, Bahia, Ceará, Distrito Federal, Paraíba e Rio Grande do Norte. Minas Gerais adota como vazão máxima outorgável 30% da $Q_{7,10}$ nas captações a fio d'água. No caso de barragens de regularização, este Estado admite que o usuário possa fazer o uso máximo do volume armazenado no reservatório, desde que mantenha uma vazão mínima a jusante de 70% da $Q_{7,10}$.

Esta multiplicidade de critérios ocasiona situações interessantes. O rio São Francisco é um bom exemplo. Na ausência de definições sobre critérios de outorga no Plano de Recursos Hídricos da bacia (ANA, 2004), os Estados nos quais a bacia está localizada utilizam seus critérios próprios para análise das outorgas nos afluentes de domínio estadual do rio São Francisco. Alguns Estados possuem critérios de outorga menos restritivos que outros, o que pode causar algum conflito entre os entes da Federação, na medida em que alguns Estados podem se sentir prejudicados. Na calha do rio São Francisco, que é de domínio da União, a ANA utiliza um critério próprio para emitir as outorgas.

O Estado do Rio Grande do Sul, por meio do Decreto nº. 37.033/96, estipula que as outorgas serão concedidas com base em parâmetros técnicos, sem fixar vazão de referência ou mesmo qual o critério de outorga. O artigo 18 deste Decreto determina que:

"Os recursos hídricos serão utilizados prioritariamente no abastecimento das populações, ficando a hierarquia dos demais usos estabelecida nos planos de bacia hidrográfica".

Parágrafo 1º: "dentro de uma mesma categoria de usuários, terá preferência para a outorga de direito de uso da água o usuário que comprovar maior eficiência e economia na sua utilização, mediante tecnologias apropriadas, eliminação de perdas e desperdícios e outras condições a serem firmadas nos planos de Bacia Hidrográfica".

Parágrafo 2º: "Ocorrendo insuficiência de água, independentemente da causa, ou no caso de degradação da qualidade do seu corpo a níveis que possam alterar sua classe de uso, DRH e FEPAM modificarão as condições fixadas no ato de outorga".

Pode-se presumir que o critério adotado seja baseado em alguma vazão de referência associado à priorização de usos definida nos Planos de Bacia, respeitando a prioridade do consumo humano.

2.6 Disponibilidade Hídrica para Outorga

A avaliação da disponibilidade é que subsidia toda e qualquer análise de interferências nos recursos hídricos de uma bacia. Cruz (2001) afirma que a caracterização da variabilidade, sazonalidade e da aleatoriedade do comportamento hidrológico são informações que devem estar associadas à própria definição da disponibilidade hídrica, através de suas estatísticas e intervalos de confiança.

Segundo Tucci (1998), as principais funções hidrológicas utilizadas para identificar a capacidade de regularização de uma bacia de forma isolada são as curvas de permanência de vazões, curva de probabilidade de vazões mínimas e simulação, para sistemas com regularização de vazões. Todos estes métodos necessitam de séries históricas de vazões para sua estimativa.

Geralmente, as séries históricas de vazões estão influenciadas por interferências nos cursos d'água: captações, lançamentos, barramentos e outros. Assim, para geração de funções hidrológicas que caracterizem a disponibilidade hídrica é desejável fazer a reconstituição das vazões naturais do rio, ou seja, estimar as vazões que ocorriam no rio no passado caso nenhum uso nele tivesse sido realizado. Para se realizar a reconstituição de vazões, é necessário conhecer o histórico real de usos da água na bacia, informação esta difícil de ser obtida com precisão. Nesse sentido, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) realizou

um trabalho de reconstituição das vazões históricas naturais afluentes aos principais reservatórios do Sistema Elétrico, baseado em dados *secundários* de consumo de água (ONS, 2004). Esses dados secundários de consumo são levantados a partir de informações de censos demográficos, industriais e agropecuários que, utilizando fatores de consumo de água para cada setor usuário, resultando em séries históricas de consumos de água.

Na tentativa de superar a dificuldade de estimativa das séries naturais de vazões, Silveira *et al* (1998, *apud* Cruz, 2001) sugerem o estabelecimento de um “marco zero” de disponibilidades hídricas, que representaria uma disponibilidade remanescente que já traria embutidos os usos atuais da água da bacia.

A utilização das séries históricas de vazão como subsídio à estimativa da disponibilidade hídrica da bacia com uma dada garantia ainda carrega outras incertezas. Ao assumir que a disponibilidade hídrica está relacionada com uma série histórica, presume-se que o que ocorreu no passado ocorrerá no futuro, notadamente em relação às estatísticas das séries (média, mínimas, permanências). Isto pode não ocorrer pela própria aleatoriedade do fenômeno, pelas sazonalidades climáticas, que em geral têm períodos de oscilação maiores que as próprias séries históricas e pelas alterações antrópicas nas características físicas das bacias, principalmente em relação à cobertura vegetal e uso dos solos, o que pode alterar a estacionariedade das séries. A série histórica de vazões também pode ser pouco representativa das estatísticas de vazão da bacia, quando sua extensão é curta.

Muitas vezes, no entanto, não se dispõe sequer de séries históricas de vazões nas seções de interesse ou próximas delas, ou, ainda, as séries são pouco extensas e, portanto, pouco representativas. Nestes casos, Tucci (1998) sugere os seguintes métodos para obtenção ou extensão das séries:

- Proporção de área entre a seção de interesse e o posto fluviométrico;
- Regressão, baseada em postos vizinhos e alguns dados locais;
- Regionalização Hidrológica;
- Modelos hidrológicos: chuva-vazão e de propagação de vazões.

A regionalização hidrológica procura, através de análise estatística de informações existentes em uma bacia, estimar estatísticas e funções hidrológicas para toda a bacia, dividindo-a em *regiões hidrologicamente homogêneas* (Tucci, 2002). As estatísticas e funções hidrológicas

são então relacionadas com características físicas das bacias (área de drenagem, precipitação média anual, declividade do rio principal e outras). A limitação de seu uso está ligada às informações utilizadas para sua estimativa. No Rio Grande do Sul, o estudo de regionalização de vazões existente (CEEE, 1991), foi elaborado com dados de postos com grandes áreas de drenagem ($> 300 \text{ km}^2$), o que torna pouco indicado seu uso em bacias com áreas de drenagem menores de 300 km^2 .

Os modelos chuva-vazão podem ser utilizados tanto para extensão de séries históricas de vazões, baseados em séries históricas de precipitações, quanto para geração de séries históricas de vazões a partir de séries históricas de precipitação. A diferença entre as duas aplicações se dá no ajuste do modelo. Quando se dispõe de uma série de vazões confiável no local de interesse, ainda que pouco extensa, o ajuste dos parâmetros do modelo pode se dar baseado na própria série. Este ajuste pode se dar tentando aproximar a série de vazões calculada pelo modelo da série observada. Quando não se dispõe de dado algum de vazão no local de interesse, o modelo deve ser ajustado com base na série de vazões observada de algum posto vizinho, e seus parâmetros transportados para o local de interesse para geração da série; ou os parâmetros do modelo devem ser estimados com base em características físicas da bacia na seção de interesse.

Os modelos chuva-vazão compõem um ramo do conhecimento muito extenso dentro do campo da hidrologia. Existem os modelos concentrados, nos quais todos os processos hidrológicos são concentrados na seção de interesse, e os modelos distribuídos, que simulam a transformação chuva-vazão em sub-bacias ou pequenas áreas. Segundo Tucci (1998), os modelos também são classificados, quanto a conceitualização em:

- Empíricos – suas equações não têm relação com processos físicos da bacia. Utilizam regressões para relacionar a precipitação com a vazão;
- Conceituais – utilizam a equação da continuidade para representar os armazenamentos de água no solo e equações empíricas para os processos dinâmicos.
- Físico-distribuídos – utilizam equações que descrevem os processos físicos envolvidos. Estes modelos têm, em geral, seus parâmetros associados a características físicas das bacias.

Silveira *et al* (1998) propuseram um método de quantificação de disponibilidade hídrica em pequenas bacias sem dados. O método utiliza um modelo chuva-vazão simplificado, cujos

parâmetros são ajustados com base em algumas amostras de vazão em épocas de estiagem. Desta forma, o modelo testado conseguiu boas estimativas, notadamente para o trecho final da curva de permanência (baixas vazões).

Um outro modelo muito utilizado em trabalhos de planejamento de recursos hídricos é o MODHAC (Lanna, 1997). O MODHAC é um modelo concentrado que, a partir de dados simultâneos de chuva, evapotranspiração potencial e vazões observadas, computa os armazenamentos e abstrações de água da bacia no ciclo terrestre da água (Lanna, 1997).

O modelo trabalha com dois intervalos de tempo. No intervalo de computação é efetuada a dinâmica do ciclo hidrológico, em geral adotado diário. Já o intervalo de simulação acumula os escoamentos calculados no intervalo de tempo de computação para a geração da série de vazões. Pela forma simplificada de propagação das vazões adotada pelo modelo, é recomendável que o intervalo de simulação seja maior que o tempo de concentração da bacia. Em trabalhos de planejamento de recursos hídricos, que não necessitam de informações de eventos de cheia de duração curta, geralmente é adotado o intervalo de tempo mensal.

Os algoritmos do modelo são, segundo Lanna (1997):

- Algoritmo de ajuste de chuva: Estabelece correções a erros sistemáticos de medição de precipitação. É utilizado quando os volumes totais de escoamento calculados diferem significativamente dos escoamentos observados.
- Algoritmos de variação das reservas hídricas: As reservas hídricas na bacia são garantidas por três reservatórios fictícios: superficial, sub-superficial e subterrâneo. Os dois primeiros ainda podem suprir a evapotranspiração potencial residual, que não foi suprida pela precipitação. Cada reservatório, quando extravasado, tem sua lei de escoamento, que dará origem a escoamentos em diferentes situações.
- Algoritmos de evapotranspiração: São três: algoritmo de evaporação direta da chuva, de evaporação do reservatório superficial e de evapotranspiração do reservatório sub-superficial.
- Algoritmos de separação da chuva remanescente: Fazem a distribuição da chuva excedente ao armazenamento do reservatório superficial, que é conhecido como escoamento superficial direto.
- Algoritmos de propagação dos escoamentos: Conforme já comentado anteriormente, o MODHAC acumula os escoamentos gerados nos intervalos de computação em um intervalo de simulação. Para que efeitos de redistribuição dos escoamentos ao longo

do intervalo de computação não sejam relevantes, o tempo de concentração da bacia deve ser menor que o intervalo de tempo de simulação.

O MODHAC possui ao total 15 parâmetros, sendo que os principais são descritos a seguir:

RSPX: capacidade máxima do reservatório superficial, em mm;

RSSX: capacidade máxima do reservatório sub-superficial, em mm;

RSBX: capacidade máxima do reservatório subterrâneo, em mm;

IMIN: infiltração mínima, em mm;

IDEC: coeficiente de infiltração, sem dimensão;

ASB: expoente da lei de esvaziamento do reservatório subterrâneo, sem dimensão;

RSBF: armazenamento mínimo para que ocorra contribuição do reservatório subterrâneo ao escoamento de base, em percentagem da capacidade do reservatório subterrâneo ;

IMAX: permeabilidade do solo, em mm;

CEVA: parâmetro da lei de evapotranspiração do solo, sem dimensão;

ASP: expoente da lei de esvaziamento do reservatório superficial, sem dimensão;

ASS: expoente da lei de esvaziamento do reservatório sub-superficial, sem dimensão;

PRED: parâmetro de correção da precipitação

Os parâmetros são ajustados automaticamente pelo modelo, que utiliza quatro funções-objetivo, a saber:

F.O. 1 – Minimização das diferenças dos quadrados das vazões observadas e calculadas, ideal para ajuste dos picos de cheia;

F.O. 2 – Minimização das diferenças dos quadrados das vazões observadas e calculadas, moduladas pela média entre as vazões observadas e calculadas;

F.O. 3 – Minimização do módulo das diferenças das vazões observadas e calculadas;

F.O. 4 – Minimização das diferenças dos logaritmos das vazões observadas e calculadas, ideal para ajuste das vazões mínimas.

Para aplicação de modelos chuva-vazão é necessário verificar a consistência das informações pluviométricas disponíveis para a bacia. Tais verificações podem ser realizadas, dentre outros métodos, pelo método do Vetor Regional (Hiez *et al*, 1983). O método do Vetor Regional é baseado no critério da maxi-verossimilhança. O vetor regional é uma série cronológica, sintética, de índices pluviométricos anuais ou mensais, extraídos, pelo método de máxima

verossimilhança, da informação mais provável contida nos dados de um conjunto de postos agrupados regionalmente.

Em resumo, o método gera um vetor, chamado vetor coluna “L”, de dimensão igual à extensão da série histórica, que é chamado de vetor regional; e outro vetor linha “C”, de dimensão igual ao número de postos, que representa os coeficientes característicos de cada estação. O vetor regional é obtido da minimização de uma função-objetivo que procura minimizar a diferença entre os valores observados e estimados. As eventuais inconsistências dos dados, sejam por desvios isolados ou sistemáticos nos dados, são verificadas por meio da plotagem de gráficos duplo-acumulativos dos erros.

Os modelos de propagação de vazões em rios e reservatórios podem ser utilizados quando se dispõe de dados de vazão em seções distantes dos pontos de interesse, e a proporção de áreas não é aplicável. Deve-se ter cuidado em relação às vazões incrementais que podem existir entre as seções consideradas no estudo.

2.7 Outorga Qualitativa

A Lei federal nº. 9.433/97, em seu artigo 12, contempla, entre os usos sujeitos à outorga, o *“lançamento em corpo hídrico de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final”*.

Já a Resolução nº. 16/2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, em seu artigo 15, aborda a outorga qualitativa determinando que *“A outorga de direito de uso da água para lançamento de efluente será dada em quantidade de água necessária para a diluição da carga poluente, que pode variar ao longo do prazo de validade da outorga, com base nos padrões de qualidade da água correspondentes à classe de enquadramento do respectivo corpo receptor e/ou critérios específicos definidos no correspondente plano de recursos hídricos ou pelos órgãos competentes”*. Pela Resolução nº. 16/2001 do CNRH verifica-se uma nova abordagem da outorga de lançamento de efluentes, entendida como a reservação de uma vazão para diluição destes poluentes, de modo que o rio mantenha uma qualidade que respeite os limites de concentração da classe em que aquele rio estiver enquadrado. A esta vazão dá-se o nome de *vazão de diluição*.

No Estado do Rio Grande do Sul, a Lei nº. 10.350/1994 atribui ao órgão ambiental do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM) a competência para autorização de lançamentos em corpos d'água. Segundo o artigo 29, parágrafo 2º, “*O órgão ambiental do Estado emitirá a outorga quando referida a usos que afetem as condições qualitativas das águas*”. A FEPAM tem considerado a licença de operação como outorga de lançamento de efluentes. O critério utilizado pela FEPAM para outorga de lançamento de efluentes é baseado em padrões de lançamento (concentrações máximas estabelecidas na Portaria Estadual nº 05/1989, emitida pela então Secretaria de Saúde e Meio Ambiente - SSMA). A Tabela 2.6 apresenta as concentrações máximas de alguns parâmetros para fontes de poluição existentes, segundo a Portaria SSMA nº. 05/1989.

Tabela 2.6 – Padrões de emissão para lançamentos de fontes poluidoras existentes, segundo Portaria SSMA nº. 05/1989.

Vazão (m ³ /dia)		DBO (20 °C) (mg/l)	DQO(mg/l)	SS (mg/l)	
	Q <	20	≤ 200	≤ 450	≤ 200
20	≤ Q <	200	≤ 150	≤ 450	≤ 150
200	≤ Q <	1.000	≤ 120	≤ 360	≤ 120
1.000	≤ Q <	2.000	≤ 80	≤ 240	≤ 80
2.000	≤ Q <	10.000	≤ 60	≤ 200	≤ 70
10.000	≤ Q		≤ 40	≤ 160	≤ 50

Uma questão que deve ser levantada é que a FEPAM, ao licenciar lançamentos de efluentes, baseada apenas em padrões de lançamento, não está considerando a capacidade do corpo hídrico em receber tais cargas de poluentes, nem garante o atendimento à classe em que o corpo hídrico está enquadrado, como preconiza o artigo 29 da Lei nº. 10.350/1994. Para atender aos preceitos da Lei de Recursos Hídricos do Estado e a Resolução nº. 16/2001, do CNRH, é necessário estimar a vazão necessária para diluir os efluentes. Uma segunda consideração a ser feita diz respeito à operacionalização deste procedimento, uma vez que a competência para outorgas de captação no Rio Grande do Sul é do DRH – Departamento de Recursos Hídricos - e para outorgas de lançamento é da FEPAM. Uma vez que as análises de tais intervenções devem ser conjuntas, faz-se necessária uma integração operacional muito estreita entre os dois órgãos.

Neste sentido, alguns Estados já estão iniciando sistemáticas de integração dos instrumentos de outorga e licenciamento. No Estado de Minas Gerais, por exemplo, já ocorre a integração dos procedimentos administrativos e dos bancos de dados que subsidiam a aplicação de ambos os instrumentos. No entanto, como o Estado de Minas Gerais ainda não emite outorgas para lançamento de efluentes, este tipo de intervenção recebe apenas o licenciamento, que é

analisado sob a ótica ambiental, baseada em padrões de lançamento. A nível federal, a integração dos instrumentos de outorga de direitos de uso e licenciamento ambiental, está sendo discutida no âmbito dos Conselhos Nacional de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, por meio de Câmaras Técnicas.

2.7.1 Vazão de diluição

Vazão de diluição é a vazão necessária para diluir algum poluente presente em um lançamento de efluentes em um corpo d'água, de modo que a concentração do(s) poluente(s) considerado(s) não ultrapasse limites de concentração permitidos para este corpo d'água. Os limites de concentração permitidos são função da classe de enquadramento do manancial parametrizados pela Resolução CONAMA n°. 357/2005.

A vazão de diluição pode ser calculada pela equação (Kelman, 1997):

$$Q_{dil} = Q_{efl} \frac{(C_{efl} - C_{perm})}{(C_{perm} - C_{man})} \quad \text{Equação (2.1)}$$

Onde:

Q_{dil} é a vazão de diluição necessária para diluir um determinado poluente, de modo a respeitar os limites de concentração daquele poluente na classe de enquadramento correspondente;

Q_{efl} é a vazão do efluente;

C_{efl} é a concentração do poluente no efluente lançado;

C_{perm} é a concentração do poluente permitida para o manancial, estabelecida segundo a classe de enquadramento à qual estabelece concentrações máximas do poluente para cada classe;

C_{man} é a concentração natural do poluente no manancial.

Um dado lançamento apresenta um valor diferente de vazão de diluição necessária para cada poluente. Mas um mesmo volume de água pode diluir diferentes poluentes. Assim, pode-se considerar como a vazão de diluição para um determinado lançamento o maior dos valores de vazão de diluição calculados para os diversos poluentes presentes no lançamento.

Uma vazão de diluição necessária para diluir um certo poluente em uma dada seção do rio também fica indisponível para diluir o mesmo poluente nas seções a jusante do lançamento.

Porém, ela pode ser utilizada para captações ou diluições de outros poluentes. Ressaltam-se os casos de poluentes não-conservativos cuja autodepuração do corpo d'água torna novamente disponíveis para diluição do mesmo poluente em trechos de jusante as vazões que estavam indisponíveis.

A abordagem da outorga qualitativa como uma vazão de diluição a ser outorgada traz a necessidade da análise conjunta da outorga das vazões para uso consuntivo e para diluição.

2.7.2 DBO como parâmetro representativo da qualidade da água

A matéria orgânica presente nos esgotos é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo de oxigênio dissolvido pelos microorganismos nos seus processos de utilização da matéria orgânica (Von Sperling, 1996).

A DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, quantifica o consumo de oxigênio biodegradável na água. A DBO é um parâmetro indicativo da quantidade de matéria orgânica presente na água. Segundo Von Sperling (1996), a DBO é o parâmetro indireto mais utilizado para quantificação da matéria orgânica.

A DBO pode ser quantificada a qualquer tempo após a coleta da amostra. Como a estabilização completa da matéria orgânica é um processo gradual, convencionou-se realizar a análise do oxigênio consumido no 5º dia após a coleta, a uma temperatura de 20° C, expressa por DBO_5^{20} . Caso a análise da amostra seja realizada após a completa estabilização da matéria orgânica, o valor resultante corresponde a toda a DBO exercida, expressa por DBO *última* (DBO_u). Segundo Von Sperling (1996), para esgotos domésticos, considera-se que após 20 dias a estabilização da matéria orgânica esteja completa.

Segundo Campos *et al* (2002, *apud* Câmara, 2003) a escolha da DBO como parâmetro representativo da qualidade da água é justificada pelas seguintes razões:

- Escolhendo-se somente um parâmetro de poluição, elimina-se a complexidade inerente à caracterização e quantificação dos efluentes, que impõem o problema da escolha de parâmetros, da sua agregação e do sistema de ponderação que os hierarquiza;

- O parâmetro DBO é representativo de esgotos domésticos e, também, um dos elementos mais presentes nos diferentes tipos de efluente industrial;
- A DBO é um parâmetro de fácil mensuração, quando comparado aos outros métodos de quantificação da matéria orgânica num corpo d'água.

2.7.3 Capacidade de autodepuração

A concentração de certos poluentes ao longo dos rios pode diminuir por meio de processos químicos, físicos e biológicos naturais. Este processo, chamado de autodepuração do curso d'água, ocorre com os parâmetros ditos não conservativos. Entre os parâmetros não conservativos está a DBO e o OD – oxigênio dissolvido. Os parâmetros ditos conservativos (sais, por exemplo), só alteram suas concentrações devido a fenômenos físicos, como transporte e decantação.

O conhecimento e a quantificação da capacidade depurativa de um curso d'água é importante para que o rio possa ser usado na assimilação dos poluentes, sem seu comprometimento, do ponto de vista ambiental, e para impedir que seja lançada uma quantidade de despejos acima de sua capacidade. Dessa forma, torna-se indispensável para a implementação da outorga contemplar a qualidade das águas e o conhecimento da capacidade de assimilação e dos processos físicos e bioquímicos da autodepuração (Conejo, 1993).

Segundo Von Sperling (1996), existem quatro principais zonas de autodepuração no curso d'água:

- Zona de degradação,
- Zona de decomposição ativa,
- Zona de recuperação,
- Zona de águas limpas.

A Figura 2.4 apresenta um perfil esquemático da concentração de matéria orgânica e oxigênio dissolvido ao longo do percurso no curso d'água, além das zonas de autodepuração (adaptado de Von Sperling, 1996).

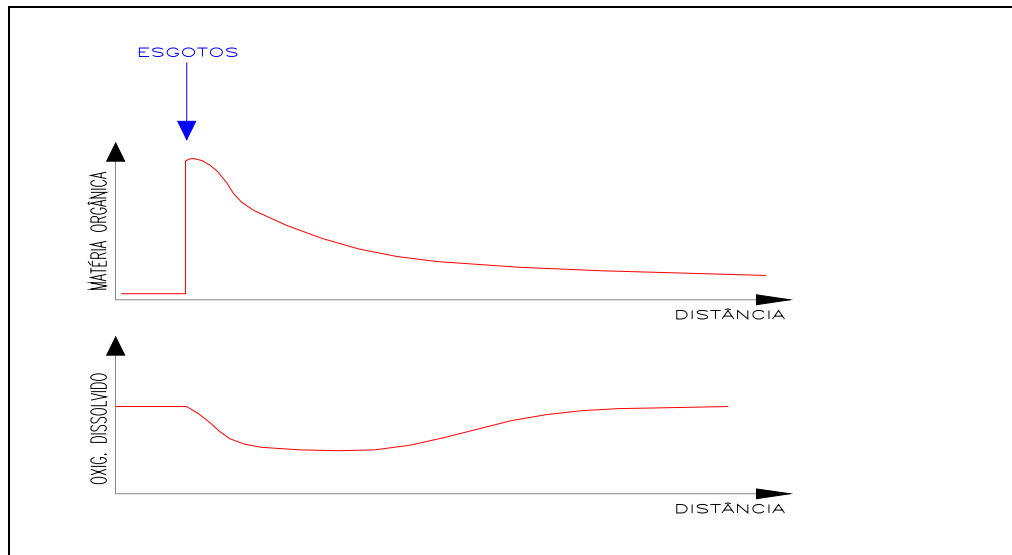


Figura 2.4 - Perfil esquemático da concentração de matéria orgânica e oxigênio dissolvido ao longo do percurso no curso d'água, além das zonas de autodepuração (adaptado de Von Sperling, 1996).

Para avaliar a autodepuração dos cursos d'água são utilizados modelos de simulação de qualidade da água. Os modelos de simulação da qualidade da água em rios possuem dois componentes básicos (Garcia e Tucci, 2000): equações que representam as condições de escoamento e uma equação de transporte de massa, que retrata a variação da concentração do parâmetro de qualidade da água.

Quanto às condições de escoamento, geralmente a simulação é realizada para uma condição crítica de qualidade da água, que se verifica na estiagem. Nesta condição, o regime do escoamento pode ser considerado permanente. Isto pode não se verificar quando existem controles de jusante. O escoamento permanente pode ser uniforme ou não-uniforme. A não-uniformidade se caracteriza pela variação da velocidade ao longo das seções do rio, e é a condição de escoamento geralmente encontrada, em função das mudanças de geometria da seção, declividade e rugosidade do rio em seu percurso.

Em relação ao transporte de massa, os modelos de qualidade da água podem considerar, para o transporte de uma substância ao longo do espaço e do tempo, os fenômenos da advecção, difusão e dispersão no corpo d'água. A advecção de uma substância é o transporte resultante do gradiente do escoamento. A difusão é a variação da concentração com base no gradiente da própria substância. A dispersão é o efeito da flutuação turbulenta sobre a concentração.

Um dos primeiros modelos para simulação da qualidade da água é o de Streeter-Phelps (Tucci, 1998). Este modelo despreza o termo de dispersão na equação de transporte de massa

e a condição de escoamento adotada é uniforme. Este modelo representa os parâmetros DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e OD (Oxigênio Dissolvido), considerando a fase carbonácea do consumo de oxigênio. Para o parâmetro DBO, a equação que rege o gradiente de concentração da carga remanescente é a seguinte:

$$\frac{dL}{dt} = -k_1 L \quad (\text{Equação 2.2})$$

Onde:

L é a concentração da carga remanescente de DBO (mg/L);

k_1 é um fator de decaimento, chamado de coeficiente de desoxigenação (dia^{-1}).

A equação diferencial acima, integrada nos limites de L entre L_0 e L_t , resulta em:

$$L = L_0 e^{-k_1 t} \quad (\text{Equação 2.3})$$

Para o Oxigênio Dissolvido, a concentração deste parâmetro também depende dos processos de reaeração, conforme a equação seguinte:

$$\frac{dC}{dt} = -k_1 L + k_2 (C_s - C) \quad (\text{Equação 2.4})$$

Onde:

C é a concentração de OD;

C_s é a concentração de saturação;

k_2 é o coeficiente de reaeração.

A equação diferencial acima, integrada nos limites de C entre C_0 e C_t , resulta em:

$$C_t = C_s - \left[\frac{k_1 - L_0}{k_2 - k_1} \cdot (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + (C_s - C_0) \cdot e^{-k_2 t} \right] \quad (\text{Equação 2.5})$$

O perfil típico de concentração para o parâmetro DBO é apresentado na Figura 2.5.

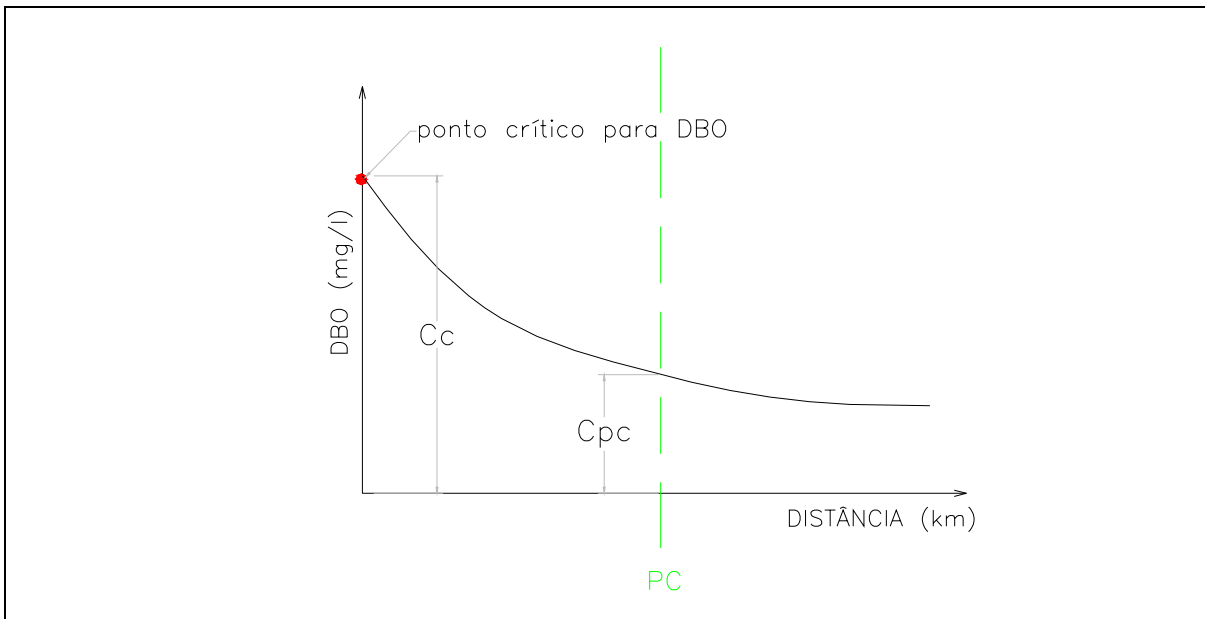


Figura 2.5 – Perfil longitudinal de concentração para DBO.

O coeficiente de desoxigenação (k_1) depende das características da matéria orgânica, além da temperatura e da eventual presença de substâncias inibidoras. Já o coeficiente de reaeração (k_2) sofre forte influência de características hidráulicas e de escoamento no corpo d'água, como a profundidade, a velocidade do escoamento e a presença de cachoeiras, além de também sofrer influência da temperatura (Von Sperling, 1996).

Os coeficientes de desoxigenação (k_1) e de reaeração (k_2) podem ser obtidos de dados de literatura ou estimados com base em modelos de simulação de qualidade de água, a partir de dados de concentração dos parâmetros medidos no rio e dados hidráulicos do curso d'água. Um modelo de qualidade de água muito utilizado é o QUAL2E (desenvolvido pela EPA – *Environmental Protection Agency*) Alguns dados de literatura para o coeficiente k_1 são apresentados na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Valores típicos de k_1 .

Origem	k_1 (dia ⁻¹)
Água residuária concentrada	0,35-0,45
Água residuária de baixa concentração	0,30-0,40
Efluente primário	0,30-0,40
Efluente secundário	0,12-0,24
Rios com águas limpas	0,09-0,21
Água para abastecimento público	<0,12

(fonte: Von Sperling, 1996).

2.8 Simulação da Outorga Quantitativa e Qualitativa

O processo de outorga conjunta para captação e diluição pode ser representado pela equação 2.6, conforme segue:

$$\sum_{i,j} \left[\left(A_i \right) \cdot Q_{\text{capta}}_{i,j} + \left(B_{p,j} \right) \cdot Q_{\text{dilui}}_{i,j,p} \right] \leq Q_{\text{máxoutorgáveltotal}}_j \quad (\text{Equação 2.6})$$

com:

$$\left(A_i \right) \cdot Q_{\text{capta}}_{i,j} + \left(B_{p,j} \right) \cdot Q_{\text{dilui}}_{i,j,p} \leq Q_{\text{outorgadatotal}}_{i,j} \quad (\text{Equação 2.7})$$

Onde:

$Q_{\text{capta}}_{i,j}$ é a vazão captada pelo usuário i no Ponto de Controle (PC) j ; $Q_{\text{dilui}}_{i,j,p}$ é a vazão de diluição para o parâmetro p do usuário i no PC j , calculada no item 2.7.1 pela equação 2.1;

A_i é o coeficiente de uso da vazão de captação do usuário i ;

$B_{p,j}$ é o coeficiente de uso da vazão de diluição no que se refere ao parâmetro p no PC j ;

$Q_{\text{máxoutorgáveltotal}}_j$ é a vazão máxima outorgável no PC j , valor que está condicionado à vazão de referência; ou, no caso dos critérios de priorização de demandas, condicionada a vazões com diferentes garantias para diferentes usos;

$Q_{\text{outorgadatotal}}_{i,j}$ é a soma da vazão outorgada para consumo e para diluição.

O coeficiente de uso da vazão de diluição, B_p , está relacionado à capacidade de autodepuração do curso d'água para o parâmetro p . Quando há depuração total do parâmetro no ponto de lançamento B_p assume o valor zero, pois na realidade o usuário não está utilizando a vazão de diluição. No extremo oposto, quando o poluente não sofre autodepuração ao longo do curso d'água (parâmetro conservativo), o valor de B_p é igual à unidade, representando assim um uso total da vazão de diluição por parte do usuário, desde o ponto de lançamento até o final do trecho em estudo. Situações intermediárias são representadas por valores de B_p entre zero e a unidade.

O coeficiente de uso da vazão de diluição B_p assume um valor para cada trecho do curso d'água. Portanto, na contabilidade efetuada pela equação 2.6, o valor de B_p é variável para cada trecho da simulação, diminuindo de montante para jusante, exceto para parâmetros conservativos.

O valor de B_p para cada Ponto de Controle pode ser calculado a partir da concentração de poluente em cada Ponto de Controle devida a determinado lançamento. Assim, o coeficiente de utilização da vazão de diluição B_p para um determinado Ponto de Controle PC_i , em relação ao Ponto de Controle imediatamente a montante PC_{i-1} , pode ser expresso pela relação:

$$B_p = \frac{CPC_i}{CPC_{i-1}} \quad (\text{Equação 2.8})$$

Onde:

CPC_i é a concentração do poluente no PC_i devido a um lançamento L ;

CPC_{i-1} é a concentração do poluente no PC_{i-1} , a montante, devido ao mesmo lançamento L .

2.8.1 Equação de Balanço Hídrico – Simulação Hidrológica

Além da equação 2.6, a simulação dos critérios de outorga exige uma equação de restrição quanto à disponibilidade física de água, ou seja, um balanço hídrico em cada Ponto de Controle (PC), conforme a equação:

$$Q_j^{jus} = Q_{j-1}^{jus} + Q_j^{increm} - Q_j^{outorgadatotal} + R_j \quad (\text{Equação 2.9})$$

Onde:

Q_j^{jus} é a vazão defluente do PC j ;

Q_{j-1}^{jus} é a vazão defluente do PC de montante $j-1$;

Q_j^{increm} é a vazão da bacia incremental situada entre os PC's $j-1$ e j ;

$Q_j^{outorgadatotal}$ é a vazão total outorgada no trecho compreendido entre os PC's $j-1$ e j ;

R_j é o retorno de vazões outorgadas que eventualmente ocorram, no PC j . Também pode incluir retornos no PC j oriundos de captações em PC's de montante.

Quando da análise de critérios de outorga baseados em vazões de referência, basta realizar o balanço hídrico uma vez, inserindo as vazões incrementais de referência nos termos Q_j^{increm} .

Quando os critérios analisados são dinâmicos (critérios de priorização de demandas), o balanço hídrico é realizado para cada PC em cada intervalo de tempo da simulação, lembrando que a vazão defluente de cada PC deve conter a vazão mínima a ser mantida no rio (vazão ecológica). Um modelo muito utilizado para simulação de critérios dinâmicos de outorga é o PROPAGAR (Lanna, 1997b).

O PROPAGAR utiliza como base uma topologia estilizada da bacia hidrográfica, onde símbolos gráficos representam reservatórios, trechos de rio, sub-bacias e demandas. Sobre esta base são lançados os Pontos Característicos (PC's). Os PC's são definidos segundo confluências da rede de drenagem, interferências hidráulicas, postos fluviométricos e pontos de grandes captações ou lançamentos pontuais.

No modelo PROPAGAR, as demandas podem ser atendidas segundo prioridades definidas pelo usuário, o que possibilita a simulação de critérios de outorga que hierarquizam demandas.

O modelo, para realização da propagação de vazões, realiza balanço hídrico, em cada intervalo de tempo da simulação, em cada Ponto Característico. Para PC's de passagem, que não são reservatórios, a equação é (Viegas Filho, 2000):

$$X(t) = Q(t) - D(t) + R[D(t)] \quad (\text{Equação 2.10})$$

Onde:

$X(t)$ é a vazão defluente do PC, no intervalo de tempo t ;

$Q(t)$ é a vazão afluyente total, dada pela soma da contribuição das sub-bacias incrementais com a contribuição dos PC's de montante;

$D(t)$ é o total das demandas concentradas a serem supridas no PC;

$R[D(t)]$ são os retornos dos diversos usos que são supridos no PC.

Para PC's de reservação de água, utiliza-se a equação de balanço hídrico para reservatórios de regularização:

$$S(t+1) = S(t) + Q(t) - D(t) + R[D(t)] - X(t) - E[S(t), S(t+1)] \quad (\text{Equação 2.11})$$

Onde:

$S(t+1)$ é o volume armazenado no reservatório no intervalo de tempo $t+1$;

$S(t)$ é o volume armazenado no reservatório no intervalo de tempo t ;

$X(t)$ é a vazão defluente do reservatório;

$E[S(t), S(t+1)]$ é a evaporação do reservatório, função dos armazenamentos do reservatório nos intervalos de tempo t e $t+1$. Esta equação é resolvida de forma iterativa, sendo que a determinação da evaporação do espelho d'água utiliza a curva cota-área-volume do reservatório.

A relação entre PC's é estabelecida pelo PROPAGAR através de um ordenamento onde os PC's que não recebem contribuições de outros PC's são considerados de ordem 1, PC's que recebem contribuições de PC's de ordem 1 são considerados de ordem 2 e assim por diante.

Como o modelo não transfere vazões que percorrem a bacia de um intervalo de tempo da simulação para o intervalo seguinte, a escolha do intervalo de tempo da simulação (5, 10, 15 ou 30 dias) deve levar em conta que este deve ser maior que o tempo em que as vazões do PC mais a montante atingem o PC mais a jusante.

Quanto às decisões em termos de alocação de água e operação de reservatórios que o modelo deve tomar, o PROPAGAR aceita que o usuário informe tais decisões, chamadas de decisões gerenciais.

As decisões gerenciais são implementadas no modelo nas fases de planejamento estratégico e operação tática (Lanna, 1997b). O planejamento estratégico engloba o nível de atendimento às demandas e vazões mínimas a serem mantidas a jusante, para reservatórios, e apenas nível de atendimento às demandas em bacias sem regularização de vazões. No PROPAGAR, estas regras são informadas por meio da rotina PLANEJA.

A operação tática é utilizada para operação de reservatórios, como, por exemplo, racionamentos no atendimento a certas demandas não obstante existir água no reservatório, por qualquer motivação. A operação tática é informada ao modelo através da rotina OPERA. As rotinas PLANEJA e OPERA são informadas ao propagar através de *scripts* em linguagem PASCAL.

Os resultados do modelo PROPAGAR são apresentados através de ferramentas presentes no modelo, como o relatório geral de falhas e gráficos. O usuário também pode solicitar ao modelo a geração de outras formas de análise de resultados, sob aspectos econômicos, estatísticos e outros, em linguagem PASCAL através da rotina chamada de "Uso Geral".

2.8.2 Análise sistêmica aplicada a recursos hídricos

Problemas em recursos hídricos, como a simulação do balanço de disponibilidades e demandas em uma bacia, podem ser resolvidos por análise de sistemas. Segundo Lanna (1998), a análise sistêmica de recursos hídricos utiliza técnicas computacionais agregadas à

modelagem matemática de sistemas de recursos hídricos. As técnicas existentes para a análise sistêmica de recursos hídricos são classificadas segundo seus objetivos (Lanna, 1998):

- Quando se deseja simular o comportamento de um sistema real, utiliza-se a técnica de simulação.
- Quando se deseja otimizar os processos decisórios que atuam sobre um real, utiliza-se a técnica da otimização.

Os modelos de simulação são utilizados na análise de diversos cenários de sistemas de recursos hídricos, funcionando como ferramentas de apoio à decisão quanto ao planejamento e gestão dos recursos hídricos, auxiliando no entendimento do comportamento de uma bacia e fazendo prognósticos de cenários alternativos (Lima e Lanna, 2001).

Os modelos de otimização podem auxiliar na obtenção do melhor processo decisório, associado a uma função-objetivo, através de técnicas de otimização, como programação linear, não-linear e dinâmica (Lanna, 1998). Estes modelos são muito utilizados em sistemas que envolvem vários reservatórios, onde a política operacional destes deve estar integrada. Exemplos de funções-objetivo utilizadas nestes modelos são: a maximização do atendimento a determinadas demandas ou a minimização da evaporação ou dos vertimentos nos reservatórios.

Um modelo de simulação de bacias muito utilizado é o PROPAGAR. O PROPAGAR simula a propagação de vazões em uma bacia, submetida ou não a regras de planejamento e operação, relacionadas ao suprimento de demandas e operação de reservatórios (Viegas Filho, 2000).

2.9 O Rateio de Custo de Obras de Uso e Proteção dos Recursos Hídricos

2.9.1 Definição e aspectos legais

O rateio de custo é um sistema de cobrança na qual os custos de uma obra ou ação são divididos entre os beneficiários. Segundo Lanna (1999), o rateio de custo parte da aplicação do princípio “usuário-pagador”.

Conforme já apresentado no item 2.3.1, a Lei Federal nº. 9.433/1997 não contempla o rateio de custo como instrumento de gestão. No caso do Rio Grande do Sul, a Lei nº. 10.350

apresenta o rateio de custo como um dos instrumentos de gestão, determinando em seu artigo 34 que:

“As obras de uso múltiplo, ou de interesse comum ou coletivo, terão seus custos rateados, direta ou indiretamente, segundo critérios e normas a serem estabelecidos pelo regulamento desta Lei, atendidos os seguintes procedimentos:

I – prévia negociação, realizada no âmbito do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica pertinente, para fins de avaliação do seu potencial de aproveitamento múltiplo e conseqüente rateio de custos entre os possíveis beneficiários;

II – previsão de formas de retorno dos investimentos públicos ou justificada circunstanciadamente a destinação de recursos a fundo perdido;

III – concessão de subsídios somente no caso de interesse público relevante e na impossibilidade prática de identificação de beneficiados para o conseqüente rateio de custos.”

Ainda não existe regulamentação para o instrumento de rateio de custos na legislação do Rio Grande do Sul, o que aparentemente não impede que ele seja previsto e recomendado nos planos de recursos hídricos de bacias hidrográficas.

2.9.2 Aspectos técnicos

O princípio básico que justifica o rateio de custo de uma obra entre vários beneficiários é o da economia de escala, em que uma obra conjunta reduz os custos a cada beneficiário em relação a uma obra individual que traga a ele os mesmos benefícios. Para que o rateio de custo ainda seja atrativo a todos os envolvidos, ainda é necessário que o custo a ser alocado (cobrado) de um dado beneficiário seja maior do que o custo que este beneficiário acresce à obra conjunta. Caso essa premissa não seja cumprida, não é interessante para os demais beneficiários que aquele participe do rateio, pois ele contribui com menos do que o custo de sua inserção na obra. Lanna (1999) define as duas premissas acima como condições de racionalidade e marginalidade, respectivamente. As duas premissas acima não devem ser válidas apenas para beneficiários individuais, mas também para quaisquer subconjuntos de beneficiários dentro do conjunto global.

Cumpridas as premissas que justificam a execução de uma obra conjunta e o conseqüente rateio de custos, ainda resta o estabelecimento de critérios para definição dos custos alocados a cada beneficiário. Lanna (1999) apresenta vários critérios, alguns sendo citados abaixo:

- rateio do custo total igualmente entre os beneficiários;
- rateio do custo total entre os beneficiários proporcionalmente aos seus benefícios ou aos seus custos individuais alternativos;
- alocação de um custo inicial a cada beneficiário segundo os custos da obra conjunta que atendem a cada um deles. O custo residual, que é o custo da obra conjunta que atende a todos os beneficiários, pode ser alocado igualmente entre os beneficiários, ou proporcionalmente aos seus benefícios ou custos de obras individuais. Como exemplo, numa barragem de regularização para irrigação, geração de energia e abastecimento público, seriam inicialmente alocados a cada setor usuário os custos das estruturas que servem individualmente a cada um deles (tomadas d'água para cada usuário, por exemplo). O restante poderia ser rateado entre eles segundo o benefício gerado pela obra a cada um deles, por exemplo.

Percebe-se que o próprio critério a ser adotado para o rateio de custo pode fazer com que sejam descumpridas as premissas básicas. Isto sugere a formulação do rateio de custos como um problema de otimização (Lanna, 1999), onde o objetivo pode ser, por exemplo, maximizar a menor economia obtida por um dado usuário com o rateio. No item 2.10 são apresentadas técnicas de otimização, como a programação linear.

2.9.3 Compensação financeira entre usuários como instrumento de gestão de recursos hídricos

Conforme visto, o instrumento de rateio de custo prevê o rateio de obras ou ações coletivas, de interesse comum de vários usuários. Em alguns casos uma obra ou ação realizada por apenas um, ou alguns usuários, também pode ser relevante para todos os usuários da bacia.

Um exemplo é a implantação de sistemas de tratamentos de efluentes de alta eficiência por alguns usuários da bacia, que permitem que outros usuários lancem seus efluentes tratados em menor eficiência, ou mesmo brutos, sem comprometer as metas de enquadramento do rio ou as restrições ambientais. Essa é uma alternativa interessante caso os custos de tratamento de efluentes de alguns usuários sejam menores em relação aos demais usuários. Os usuários com maiores custos de tratamento poderiam compensar os usuários com menores custos, para que estes últimos tratem seus efluentes com maior eficiência.

Assim, a compensação entre usuários pode ser entendida como um instrumento de gestão semelhante ao rateio de custo. A justificativa para implementação de um esquema de rateio de

custos numa bacia é a economia de escala de uma obra ou intervenção única em relação a várias obras ou intervenções individuais. Analogamente, a justificativa para a compensação financeira para obras ou intervenções individuais é a racionalização dos investimentos em toda a bacia, que se torna atrativa a todos os usuários na medida em que alguns são compensados financeiramente.

2.10 Técnicas de otimização aplicadas à gestão de recursos hídricos

As técnicas de simulação de recursos hídricos apresentadas anteriormente buscam descrever de forma sistêmica o comportamento de uma bacia, de modo a subsidiar tomadas de decisão quanto à aplicação de instrumentos de gestão na bacia. Mas a análise sistêmica aplicada aos recursos hídricos permite que se vá mais além, buscando não só a simulação de um sistema, mas sua otimização, objetivando maximizar os benefícios quando se tem limitação de algum recurso.

Em sistemas de recursos hídricos dependentes da operação de reservatórios, por exemplo, as técnicas de simulação descrevem o comportamento do sistema sob dada regra de operação dos reservatórios. Já as técnicas de otimização podem indicar qual a melhor regra de operação, segundo o objetivo de maximizar o atendimento a um determinado setor usuário, ou minimizar a evaporação ou os vertimentos do reservatório, por exemplo.

A otimização de um sistema de recursos hídricos, por exemplo, a locação de algumas intervenções hidráulicas na bacia que maximizem a disponibilidade hídrica a um custo máximo admissível, pode ser realizada por técnicas de enumeração, programação dinâmica, programação linear e não-linear.

Segundo Lanna (1998), o procedimento mais imediato de otimização é a utilização de um modelo de simulação para enumerar exaustivamente as alternativas decisórias, de modo a identificar a situação ótima. A Programação Dinâmica é definida por Lanna (1998) como um problema de otimização que é resolvido por decisões seqüenciais, ou seja, não importa a decisão que foi tomada anteriormente, sempre haverá uma alternativa ótima para a próxima tomada de decisão. Lanna (1998) apresenta dois problemas para utilização da programação dinâmica: não existem programas generalizados para aplicação da técnica da programação dinâmica; e os sistemas muito complexos geram um número muito grande de caminhos a serem “mapeados”.

A técnica de Programação Linear é um método de otimização que procura maximizar ou minimizar uma função, chamada de função-objetivo, respeitando algumas restrições. A estrutura do problema é a seguinte:

Função-objetivo: maximize (ou Minimize) $f(x)$

Sujeito à:

$G1(x) \leq a$

$G2(x) \leq b$

.....

Tanto a função-objetivo como as restrições devem ser funções lineares. Quando uma destas funções não é linear, devem-se utilizar técnicas de linearização de funções, como a programação separável ou o artifício de linearização da função em segmentos (Lanna, 1998). Existem vários métodos para resolução de problemas de programação linear, como Simplex, Out of Kilter e outros. A diferença entre eles está basicamente na rapidez com que o “ótimo” é alcançado.

Dentro da aplicação das técnicas de otimização no planejamento de recursos hídricos, existem algumas abordagens bastante conhecidas, especialmente quanto à decisão em relação a investimentos numa bacia: abordagem *custo-benefício* e abordagem *custo-efetividade*.

2.10.1 Abordagem Custo-Benefício

A análise custo-benefício visa encontrar, do ponto de vista econômico, o ponto ótimo de uma gama de alternativas. Para tal, são levantados os custos de diversas alternativas econômicas e os benefícios econômicos resultantes destas alternativas. O ótimo é encontrado no ponto onde a diferença entre os benefícios e custos é máxima. Um dos vários exemplos de aplicação desta abordagem é o de Silva Filho e Carneiro (2004) que utilizaram a abordagem custo-benefício para otimização do dimensionamento de usinas hidrelétricas.

Para aplicação da análise custo benefício num problema de otimização de investimentos em saneamento numa bacia, por exemplo, além dos custos decorrentes da melhora na qualidade da água, deveriam ser levantados, primeiramente, os benefícios decorrentes das melhoras iniciais de qualidade da água na bacia, como redução de despesas em saúde e em custos de tratamento da água para consumo humano. Na medida em que a qualidade da água melhora, devem ser realizadas avaliações sobre a disposição da sociedade a fazer investimentos que

melhorem ainda mais a qualidade do curso d'água, tais como estudos de “valor de opção”, “valor de existência” e outros, avaliações estas que possuem dificuldades operacionais e teóricas (Cánepa *et al*, 1999).

Cánepa *et al* (1999) afirmam que pelas objeções práticas e teóricas da *abordagem custo benefício* e pelo fato da Lei nº. 9.433/1997 contemplar a resolução CONAMA nº. 20/1986, a aplicação do *princípio poluidor pagador* (PPP)¹ no Brasil deve se dar pela *abordagem custo efetividade*.

2.10.2 Abordagem Custo-Efetividade

Esta abordagem visa a atender a um determinado objetivo, ou cumprimento de uma missão, ao menor custo possível. Lanna (2000) afirma que, para a análise de investimentos públicos pela análise custo-efetividade, podem ser realizadas duas abordagens: a abordagem tradicional que, uma vez estabelecido o bem público a ser produzido, a otimização procura alcançá-lo ao menor custo; outra abordagem que visa, uma vez fixado um limite de custo a ser aplicado, maximizar o cumprimento da missão. Um exemplo da aplicação da análise custo-efetividade é o trabalho de Cánepa *et al* (1999), que aplica o PPP na abordagem custo-efetividade na bacia do rio dos Sinos, estudando algumas alternativas de tratamento de efluentes de vários tipos de usuários, em relação a alguns níveis de tratamento pré-estabelecidos.

A análise custo-efetividade possui uma grande vantagem em relação à análise custo-benefício, que é o fato de não ser necessária qualquer valoração econômica de externalidades sociais, ambientais e outras, que não são facilmente convertidas em unidades monetárias.

2.10.3 Análise Multicritério

As abordagens econômicas representadas pelas análises custo-benefício e custo-efetividade não conseguem contemplar de forma ampla todos os aspectos que envolvem uma tomada de decisão em relação a um investimento público ou privado em uma bacia, pois os objetivos sociais, políticos e institucionais também devem ser considerados. Segundo Braga e Gobetti (1997), o processo decisório na área de recursos hídricos envolve múltiplos objetivos e

¹ Princípio Poluidor Pagador (PPP): princípio teórico que sustenta o instrumento da cobrança pelo lançamento de efluentes: este princípio preconiza que é justo que o poluidor pague pela poluição lançada no rio, pois assim ele está absorvendo uma externalidade ambiental. Pelo PPP, o valor a ser pago pelos poluidores é que determinará os níveis de tratamento que serão atingidos numa bacia.

múltiplos decisores (comitês, consórcios, etc.), o que gera não apenas uma alternativa ótima, mas sim um conjunto de ótimos que satisfaz, de formas diferentes, os diferentes objetivos envolvidos numa análise, o que pode ser obtido através de uma análise multiobjetivo.

Na Política Nacional de Recursos Hídricos, que entre seus fundamentos preconiza uma gestão descentralizada e com participação do Poder Público, usuários e comunidade, a análise multicritério pode ser uma ferramenta para sistematização dos problemas e proposição de alternativas de gestão pelo Poder Público em conjunto com os Comitês de Bacia, efetivando a gestão participativa dos recursos hídricos.

Assim, a análise multicritério busca hierarquizar alternativas sob o ângulo de vários objetivos que não são numericamente comparáveis, como benefícios ambientais, econômicos, sociais e políticos, sob a ótica de diferentes decisores. Neste sentido, Matzenauer (2003) propõe uma metodologia multicritério para apoio à decisão na gestão de bacias hidrográficas, baseada numa abordagem construtivista, que é baseada na formulação do problema e proposição de alternativas pelos próprios tomadores de decisão (membros dos Comitês de Bacia). A autora também aplica a metodologia na bacia do rio dos Sinos-RS, sugerindo uma série de estratégias de gestão para a bacia.

Um desafio que se coloca é a tentativa de contemplar o princípio da Lei nº 9.433 de participação da sociedade nas decisões com os instrumentos de gestão de recursos hídricos e ambiental, especialmente a outorga de direito de uso de recursos hídricos, o enquadramento do rio em classes, os planos de recursos hídricos e o licenciamento ambiental. Ou, como afirma Matzenauer (2003): “Como planejar os recursos hídricos de uma bacia hidrográfica de forma a contemplar vários objetivos simultaneamente e de modo a incluir a participação da sociedade neste processo, em atendimento às normas legais em vigência no País?”.

3. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

3.1 Características Gerais

A bacia hidrográfica do rio Paranhana se situa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, sendo o rio Paranhana um dos afluentes do rio dos Sinos, que por sua vez contribui para a formação do lago Guaíba. O rio Paranhana tem suas nascentes localizadas nos Municípios de Canela, Gramado e São Francisco de Paula, a cerca de 900m de altitude. Sua confluência com o rio dos Sinos localiza-se no Município de Taquara, numa altitude de 20m. Dentro da área da bacia, ainda situam-se os Municípios de Três Coroas, Igrejinha e Parobé. A bacia hidrográfica possui área de 580km². Os principais afluentes do rio Paranhana são os arroios Solitário, Nicolau, Irapuã, Moreira, Angabei, Laranjeiras, Águas Brancas, Müller, Santa Maria e nascentes do Paranhana, sendo estes dois últimos, os principais formadores do rio Paranhana. Nas nascentes do Paranhana e Santa Maria ocorre uma transposição de vazões (de 2 a 9 m³/s) da bacia do rio Caí, através de três reservatórios em série presentes no rio Santa Cruz – reservatórios da Divisa, do Blang e Salto – que após a transposição alimentam a usina de Bugres e a jusante formam o reservatório da usina de Canastra. No curso do rio Paranhana ainda encontra-se o reservatório de Laranjeiras, atualmente sem uso, mas com previsão de geração de energia elétrica, a ser operado pela iniciativa privada. A localização da bacia do rio Paranhana no Estado do Rio Grande do Sul e na bacia do rio dos Sinos está apresentada na Figura 3.1.

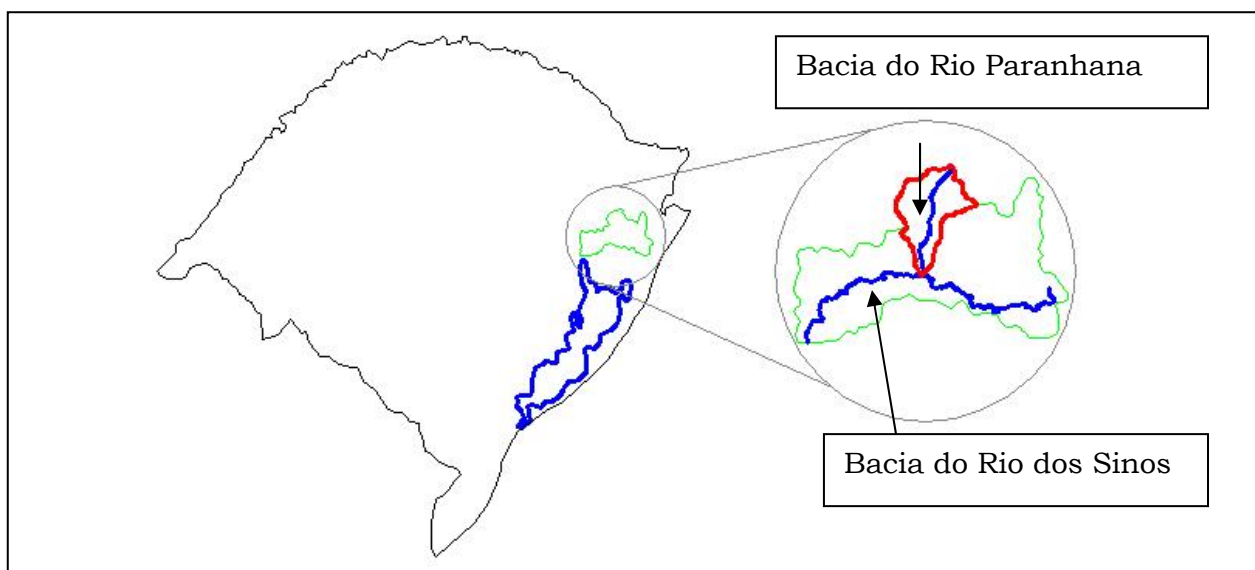


Figura 3.1 – Localização da bacia do rio Paranhana.

3.2 Características Físicas

3.2.1 Características Climáticas

De acordo com a classificação climática de Köppen (Magna, 1996) a bacia do rio dos Sinos, e por consequência a do rio Paranhana apresentam os Tipos Climáticos Cfa – mesotérmico (temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e do mês mais quente superior a 22°C), subtropical úmido sem estação seca – e Cfb - mesotérmico e temperado úmido (temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C).

As precipitações são bem distribuídas ao longo do ano, com médias de 2310 mm para um posto localizado em São Francisco de Paula (área de Tipo climático Cfb) – posto 02950032, dados de 1912 a 1961 - e 1401 mm em posto localizado em Taquara (Tipo climático Cfa) – posto 02950037, dados de 1950 a 1978.

A temperatura média na região é de 14,4°C na região de tipo climático temperado (São Francisco de Paula) 19,4°C na região de tipo climático subtropical (Taquara). A umidade relativa do ar tem média anual de 83% no posto de São Francisco de Paula e 76% no posto de Taquara, tendo pouca variação ao longo do ano, que pode ser explicada pela boa distribuição de chuvas ao longo do ano nos dois postos analisados.

3.2.2 Características Geomorfológicas

As unidades geológicas presentes na bacia do rio Paranhana são as formações Serra Geral, Arenito Botucatu e Aluviões. A formação Serra Geral, composta basicamente de basalto oriundo de derramamentos vulcânicos, está presente nas cabeceiras dos rios Santa Maria, Angabei e Paranhana, regiões de maior altitude e relevo mais acidentado. A formação Arenito Botucatu está presente no trecho inferior da bacia do rio Paranhana, principalmente nos Municípios de Taquara e Parobé. Constitui-se de solos arenosos bastante suscetíveis à erosão, não obstante esta formação situar-se em relevo menos declivoso. Próximas à calha do Rio Paranhana são encontradas as formações aluvionares, caracterizadas por depósitos sedimentares heterogêneos presentes nas várzeas de inundações (Magna, 1996).

A presença de aquíferos na Bacia ocorre nas falhas tectônicas presentes nas formações basálticas e entre as camadas de arenito. Os maiores fluxos hidráulicos ocorrem nas fraturas de rochas basálticas, apesar dos arenitos conterem grande quantidade de água.

A cobertura vegetal é caracterizada por uma intensa ação antrópica, com agricultura nas regiões de cabeceiras e ocupação urbana nas regiões menos declivosas da Bacia. Existem unidades de conservação na Bacia, com destaque para a Floresta Nacional de São Francisco de Paula (1.140 ha) e a Floresta Nacional de Canela (500 ha).

3.3 Características Sócio-Econômicas

3.3.1 Aspectos Demográficos

Na bacia do rio Paranhana estão inseridos 7 Municípios, com áreas e população conforme a Tabela 3.1. As populações se referem ao censo demográfico do IBGE do ano de 2000 (IBGE, 2000)

Tabela 3.1 – Municípios da bacia do rio Paranhana

Município	Área total (km²)	Área na bacia (km²)	População total	Pop. urbana	Pop. rural	Projeção de crescimento populacional (% em 12 anos.)*
Canela	246	136	33625	30760	2865	47,16
Gramado	245	76	28593	23328	5265	13,67
Três Coroas	166	140	19430	17067	2363	52,20
Igrejinha	151	107	26767	25530	1237	72,81
Parobé	126	32	44776	43439	1337	91,38
São Francisco de Paula	3269	67	19725	12269	7456	-19,56
Taquara	390	22	52825	43125	9700	34,18

* Projeção realizada pela APLAN/CORSAN (*apud* Magna, 1996).

As projeções de crescimento da Tabela 3.1 mostram que o município de São Francisco de Paula vem sofrendo uma redução de sua população. Este Município, ao contrário dos demais Municípios da Bacia, vive basicamente da pecuária, atividade que vem perdendo pujança econômica, o que faz com que a população de São Francisco de Paula migre para outros Municípios.

3.3.2 Aspectos Econômicos

As atividades econômicas presentes na Bacia são diversificadas e têm uma distribuição espacial bem definida. Nas áreas de cabeceira nos Municípios de São Francisco de Paula, Canela e Gramado a atividade agropecuária predomina na zona rural, com a criação de gado, aves e suínos e cultivo de culturas anuais, como milho, batata e hortaliças, e perenes, como frutíferas. As zonas urbanas destes Municípios têm predominância de estabelecimentos comerciais e de serviços, destacando-se a vocação turística. Já nas áreas da Bacia situadas nos trechos médio e inferior do rio Paranhana, destaca-se a atividade industrial, especialmente curtumes e indústrias de calçados. Esta região possui um dos mais importantes pólos coureiro-calçadistas do País. Também ocorre a atividade extrativista de arenito, para a confecção de lajotas e pedras para calçamento. Na zona rural, destaca-se a agricultura com culturas anuais de batata, milho, feijão e hortaliças, culturas perenes de frutíferas e a criação de gado, suínos e aves. Segundo Magna (1996), há alguma atividade de aquicultura na porção média e superior da bacia do rio Paranhana.

3.4 Conflitos de Uso da Água na Bacia

Os maiores conflitos pelo uso da água na bacia do rio Paranhana são de ordem qualitativa, especialmente no seu trecho inferior, onde convivem as indústrias coureiro-calçadistas e captações da CORSAN para abastecimento dos Municípios de Três Coroas, Igrejinha e Parobé.

O reservatório de Laranjeiras, situado na porção superior do rio Paranhana, foi construído para geração de energia elétrica, o que acabou não ocorrendo. Atualmente, a operação do reservatório de Laranjeiras foi assumida pelas operadoras de turismo da região, que abrem a descarga de fundo da barragem apenas para a prática de *rafting* para turismo ou competições esportivas em épocas de estiagem, pois a modalidade exige uma vazão mínima no Rio. Há previsão da reativação da geração de energia no reservatório, com previsão de uma potência instalada de 1 MW.

No rio dos Sinos são constantes os problemas de quantidade e qualidade da água. As captações de grandes municípios do Estado, como São Leopoldo e Novo Hamburgo são realizadas neste rio, que também atende a grandes lavouras de arroz irrigado por inundação em seu trecho médio. Conforme veiculou o jornal *Correio do Povo*, em 15 de janeiro de 2005, “*Nos próximos três finais de semana, produtores de arroz dos municípios de Ingá, Caraá, Santo Antônio, Taquara e Rolante vão reduzir em 96% a captação de água da Bacia dos*

Sinos. A medida foi tomada para minimizar a estiagem que afeta São Leopoldo, Novo Hamburgo, Esteio e Sapucaia do Sul, cidades de porte maior e banhadas pelo rio". Embora estes conflitos ocorram com maior frequência no rio dos Sinos, eles podem afetar os usos menos prioritários do rio Paranhana, que pela legislação devem ser preteridos em situações de escassez.

3.5 Estágio da Gestão dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Paranhana

A bacia do rio Paranhana está inserida na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, que possui um Comitê de bacia hidrográfica implementado e operacional, o COMITESINOS. Este comitê é o primeiro comitê de bacia estadual do País, criado em setembro de 1987. Mas apenas em 1994, com a promulgação da Lei Estadual nº. 10.350/1994, foram atribuídos ao Comitê alguns poderes para deliberar normas, tomar medidas e algumas outras iniciativas relativas aos recursos hídricos da bacia.

Atualmente, o COMITESINOS, juntamente com órgãos públicos, associações e entidades da sociedade civil vem trabalhando no *Projeto Monalisa*, nome dado ao projeto que fará o cadastro dos usuários dos recursos hídricos da bacia e o diagnóstico dos impactos no entorno dos corpos d'água, servindo de fundamental subsídio à gestão dos recursos hídricos.

Entre os problemas levantados pelo COMITESINOS para sua atuação destacam-se (Haase, 2002):

- Problemas relativos à representatividade no âmbito do Comitê: nem o representante representa de fato seus representados, como não tem força junto à entidade que representa;
- A participação dos órgãos governamentais deve melhorar;
- Os membros do comitê devem ser mais bem capacitados;
- Falta cadastro de usuários;
- A outorga e cobrança precisam ser implantadas;
- A Agência de Bacia precisa ser implantada;
- O governo estadual deve ajudar financeiramente o Comitê, enquanto não é realizada a cobrança.

4. METODOLOGIA

A metodologia proposta neste trabalho segue a seguinte seqüência:

1 Proposição e análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos na bacia do rio Paranhana

Para esta etapa do trabalho é necessário o levantamento de disponibilidades e demandas hídricas, consuntivas e não consuntivas, para realização do balanço hídrico e proposição e avaliação de critérios de outorga. Dentro desta etapa, as sub etapas estão descritas a seguir:

1.a) Avaliação da Disponibilidade Hídrica:

Nesta etapa são estimadas as disponibilidades hídricas da bacia, notadamente em relação às vazões com alta permanência no tempo (vazões de estiagem).

1.b) Discretização da bacia e definição dos Pontos de Controle (PCs):

A bacia, formada pelo seu rio principal e diversos afluentes, é segmentada em Pontos de Controle, ou Pontos Característicos (PCs), que, conforme já apresentado no item 2.5.3, são pontos ao longo dos rios da bacia onde são concentradas as demandas e estimadas as disponibilidades. É necessária esta discretização da bacia para que se possa realizar a gestão na bacia de forma sistêmica.

1.c). Levantamento dos usos da água na Bacia:

Para esta etapa do trabalho, são levantadas as demandas atuais e suas projeções de crescimento, de modo a orientar a alocação de água na bacia de acordo com os critérios de outorga propostos.

1.d). Definição de usos prioritários:

Os critérios de outorga propostos exigem uma hierarquização dos usos segundo suas prioridades, que é realizada nesta etapa.

1.e) Cálculo das vazões de diluição e Auto-depuração:

Os usos da água na bacia correspondentes a lançamentos de efluentes são, nesta etapa, “transformados” em demandas quantitativas, através da estimativa da vazão de diluição, conforme apresentado no item 2.7.1. Nesta etapa, também é realizada a consideração da

autodepuração do corpo d'água para a estimativa da vazão de diluição nos PCs a jusante dos lançamentos, conforme apresentado no item 2.7.3.

Todas as sub etapas até aqui apresentadas são detalhadas nos itens 4.1 a 4.6 deste Capítulo.

1.f) Simulação e avaliação dos critérios de outorga para captação e diluição de poluentes:

Nesta etapa são simulados e avaliados os critérios de outorga propostos, quais sejam:

- critérios da vazão referencial;
- vazão referencial variável ao longo do ano e
- priorização de demandas por garantia de suprimento e por vazão excedente.

Os resultados da simulação dos critérios de outorga e a avaliação dos seus resultados são apresentados num Capítulo à parte (Capítulo 5 - Resultados e Avaliação da Aplicação dos Critérios de Outorga).

2. Simulação e avaliação de alternativas de gestão para a bacia do rio Paranhana:

Após a proposição, simulação e avaliação de critérios de outorga aplicados à bacia do rio Paranhana, são propostas, simuladas e avaliadas alternativas para atendimento às demandas da bacia. As alternativas avaliadas foram as seguintes:

- Proposta de enquadramento progressivo do rio Paranhana – etapalização da qualidade;
- Análise custo-efetividade de tratamento de esgotos, com proposição de alternativas otimizadas de níveis de tratamento de efluentes na bacia;
- Esquema de compensação financeira entre usuários para viabilizar alternativas de tratamento de efluentes.

As alternativas analisadas serão apresentadas no Capítulo 6 – Análise de Alternativas de Gestão Para a Bacia do Rio Paranhana.

4.1 Avaliação da Disponibilidade Hídrica

Nesta etapa, objetiva-se a obtenção de séries históricas de vazões médias mensais em diversas sub-bacias da bacia do rio Paranhana, para posterior verificação de atendimento às demandas de água em diversos cenários, segundo diversos critérios de outorga. O intervalo de tempo adotado para as simulações é o mensal, por isso não há preocupações com as distribuições da vazão dentro de cada mês, pois a análise do atendimento às demandas é realizada mensalmente em cada PC.

Dispõe-se de dois postos fluviométricos localizados dentro da bacia, com dados médios diários:

- Passo do Louro: área 104 km², dados de 1941 a 1954.
- Igrejinha: área 476 km², dados de 1941 a 1954.

Dispõe-se de alguns postos fluviométricos da bacia do rio dos Sinos, dos quais um posto localiza-se próximo à confluência do rio Paranhana com o rio dos Sinos, englobando em sua área de drenagem toda a bacia do rio Paranhana. Além disso, possui uma série histórica de vazões mais longa de que os postos do rio Paranhana:

- Campo Bom: área 2864 km², dados de 1940 a 2002.

A montante do posto Passo do Louro ocorre entrada de vazões do esquema de transposição da bacia do rio Caí, efetuado pela Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE. A vazão máxima transposta é de 9 m³/s, a vazão média mensal se situa no intervalo de 3 a 5m³/s e a vazão mínima assegurada pela CEEE é de 2m³/s. Sua operação iniciou no ano de 1952. Um resumo dos postos encontra-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Resumo dos postos fluviométricos.

Código	Nome	Q_p m³/s	Q_p l/s.km²	Q₉₅¹ m³/s	Q₉₅¹ l/s.km²	Q₉₅² m³/s	Q₉₅² l/s.km²
87366000	Passo do Louro	3,3	31,9	0,346	3,33	0,371	3,57
87372000	Igrejinha	7,8	16,3	0,750	1,58	0,728	1,53
87380000	Campo Bom	67,0	25,5	4,310	1,50	7,050	2,46

¹ –Antes da transposição.

² –Depois da transposição.

Nota-se que a influência da transposição nas vazões mínimas é importante, especialmente quando se analisa a vazão Q₉₅ do posto de Campo Bom antes e após a transposição, que passa de 4,31 m³/s (dados de 1940 a 1951) para 7,05 m³/s (dados de 1952 a 2002). Nos postos do rio Paranhana, onde esta influência deveria ser mais acentuada, pela sua menor área de drenagem, ela não é notada, pelo fato de a série histórica dos dois postos se estender só por dois anos após a implantação da transposição. Verifica-se, assim, que nos dois primeiros anos de implantação da transposição as vazões transpostas ainda não estavam na magnitude que se encontram atualmente.

A extensão curta das séries históricas dos dois postos fluviométricos existentes na bacia gerou a necessidade de realizar estudos quanto a algumas técnicas de geração ou extensão de séries de vazões em bacias com carência de dados. A seguir serão discutidos os estudos realizados.

Regionalização:

Pode-se regionalizar a curva de permanência e outras funções hidrológicas, mas esta metodologia não considera a seqüência cronológica das vazões – hidrograma (Silveira, 1997). CEEE (1991) apresentou equações regionais para o Rio Grande do Sul, mas que não se aplicam a bacias pequenas, pois os estudos foram realizados em bacias com área média de 8.292 km². A equação encontrada por CEEE (1991) para a vazão de referência Q_{95} , para a bacia do rio dos Sinos é a seguinte:

$$Q_{95} = 0,00035 \cdot A^{1,165} \quad \text{(Equação 4.1)}$$

Onde:

Q_{95} é vazão em m³/s;

A é área da bacia em km².

Para a bacia do rio dos Sinos - na qual a bacia do rio Paranhana se insere - os resultados da regionalização não foram considerados satisfatórios (CEEE, 1991).

Correlação Direta entre postos fluviométricos:

Pelo fato de o posto Campo Bom possuir uma série histórica de vazões mais longa, foi estabelecida a correlação dos valores mensais entre o posto Campo Bom e os postos Passo do Louro e Igrejinha, para posterior extensão das séries destes últimos postos, conforme as Figuras 4.1 e 4.2.

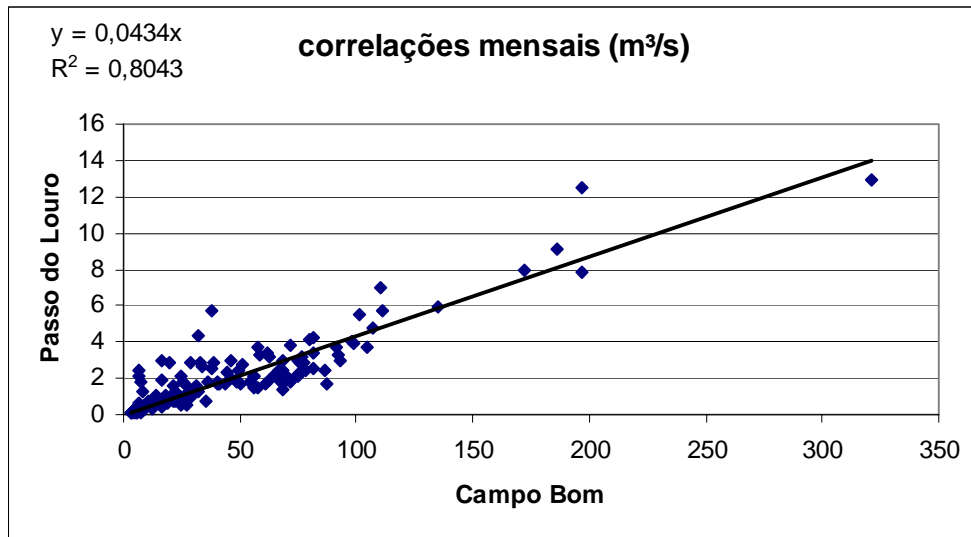


Figura 4.1 - Correlações entre dados médios mensais do posto Campo Bom com o posto Passo do Louro.

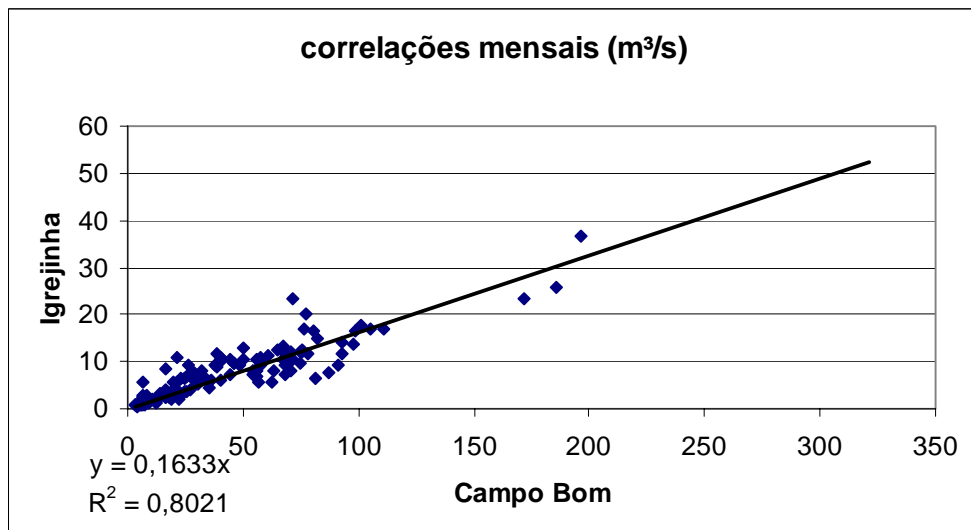


Figura 4.2 - Correlações entre dados médios mensais do posto Campo Bom com o posto Igrejinha.

Um dos problemas em relação a este método está na confiabilidade dos dados do posto Campo Bom. Segundo Magna (1996), a seção fluviométrica de Campo Bom apresenta "*leito de areias finas e médias, próximo à estação é extraída areia do leito, de tal forma que principalmente quando da ocorrência de baixos níveis de água, é variável a relação entre nível d'água e vazão*". Assim, para as baixas vazões, os dados do posto Campo Bom não são confiáveis. Os outros postos fluviométricos da bacia do rio dos Sinos apresentam os mesmos problemas (Magna 1996). Além deste problema, a relação de áreas de drenagem entre os postos correlacionados é grande, com conseqüentes diferenças nos tempos de concentração e na distribuição, principalmente espacial, das precipitações ocorridas nas bacias.

Assim, optou-se pela utilização de modelo chuva-vazão para extensão das séries de vazões de Passo do Louro e Igrejinha, a partir das séries históricas de precipitações.

Modelo chuva-vazão:

Para o ajuste do modelo e posterior extensão das séries de vazões, foram levantados os dados de precipitação na região. Um resumo dos postos de precipitação utilizados está na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resumo dos postos de precipitação utilizados no trabalho.

Posto	Código	Responsável	Período de dados	Média anual (mm)
Barragem Salto	02950006	CEEE	1941 a 1980	1507
Canela	02950009	CEEE	1941 a 1978	1901
Passo do Louro	02950022	CEEE	1943 a 1958	1461
Avenida	02950025	DEPRC	1951 a 1978	1993
Renania	02950026	CEEE	1944 a 1978	1821
Sander	02950029	CEEE	1943 a 1978	1529
São Francisco de Paula	02950032	INMET	1912 a 1961	2310
Taquara	02950037	DEPRC	1950 a 1978	1401
Capão dos Coxos	02950010	CEEE	1947 a 1978	1644

Os dados dos postos de precipitação estão brutos e com falhas. Para realização da consistência dos postos, foi utilizado o método do Vetor Regional (Hiez *et al*, 1983), já descrito no Capítulo 2.

Foi adotado o período de 1941 a 1978 para consistência a nível mensal; período este que foi usado para a extensão da série de vazões. Os postos Sander (02950029) e Salto (02950006) foram descartados, por apresentarem erros consideráveis em relação ao vetor regional gerado para o conjunto de postos. A Figura 4.3 apresenta o gráfico duplo-acumulativo dos erros para o posto Sander, configurando-se provavelmente em um erro sistemático nos dados.

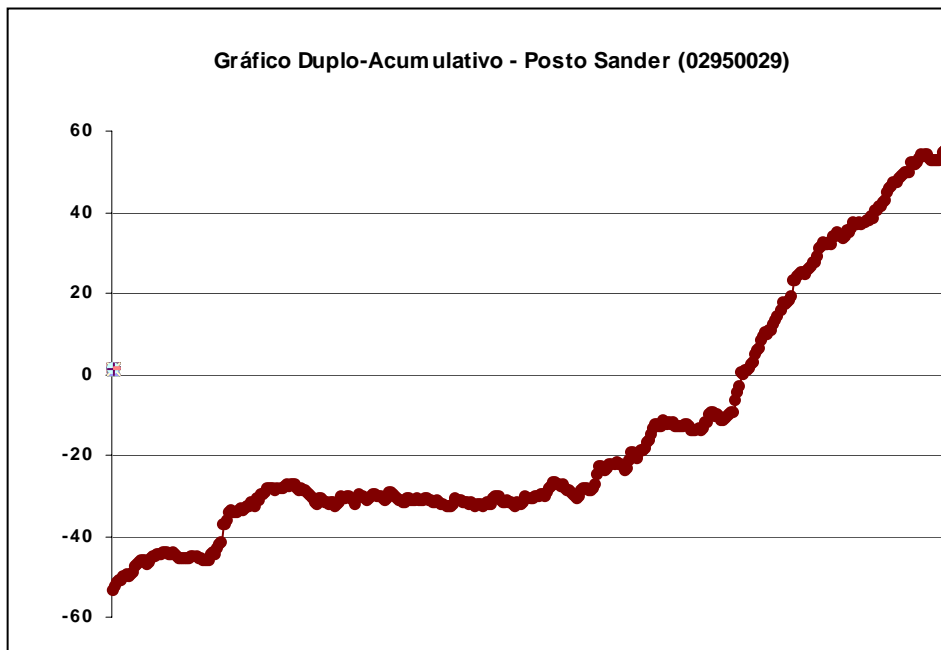


Figura 4.3 – Gráfico duplo-acumulativo dos erros para o Posto Sander.

A Tabela 4.3 apresenta o vetor C e a Tabela 4.4 o vetor L, resultados do método do Vetor Regional.

Tabela 4.3 – Resultados do Vetor C.

Posto	Barragem Salto	Canela	Passo do Louro
Código	02950006	02950009	02950022
Vetor C	0,854	1,125	0,898
Posto	Avenida	Renania	Sander
Código	02950025	02950026	02950029
Vetor C	1,167	1,090	0,834
Posto	São Francisco Paula	Taquara	Capão dos Coxos
Código	02950032	02950037	02950010
Vetor C	1,259	0,815	0,951

Não foi realizado preenchimento de falhas dos dados pluviométricos a nível diário, pois as falhas em geral são de vários dias consecutivos, o que dificulta seu preenchimento.

Tabela 4.4 – Resultados do Vetor Regional L.

mês	Vetor L	mês	Vetor L	mês	Vetor L	mês	Vetor L	mês	Vetor L	mês	Vetor L	mês	Vetor L
jan/41	125,04	jun/46	161,67	nov/51	169,25	abr/57	256,13	set/62	121,86	fev/68	98,99	jul/73	141,65
fev/41	173,76	jul/46	116,95	dez/51	69,56	mai/57	72,30	out/62	138,87	mar/68	210,09	ago/73	233,30
mar/41	82,60	ago/46	89,23	jan/52	118,67	jun/57	141,70	nov/62	114,24	abr/68	93,57	set/73	187,08
abr/41	273,02	set/46	56,88	fev/52	131,16	jul/57	169,22	dez/62	90,85	mai/68	75,63	out/73	157,20
mai/41	282,72	out/46	150,88	mar/52	99,23	ago/57	153,89	jan/63	266,72	jun/68	109,46	nov/73	91,98
jun/41	140,24	nov/46	142,54	abr/52	80,08	set/57	212,70	fev/63	183,79	jul/68	111,16	dez/73	206,06
jul/41	143,53	dez/46	207,54	mai/52	71,65	out/57	137,44	mar/63	158,90	ago/68	39,76	jan/74	109,52
ago/41	72,13	jan/47	175,11	jun/52	218,39	nov/57	115,08	abr/63	55,08	set/68	156,04	fev/74	146,36
set/41	193,39	fev/47	188,49	jul/52	98,76	dez/57	219,43	mai/63	83,03	out/68	135,69	mar/74	231,24
out/41	219,35	mar/47	80,01	ago/52	108,83	jan/58	133,42	jun/63	72,26	nov/68	141,58	abr/74	60,35
nov/41	205,80	abr/47	90,89	set/52	137,98	fev/58	133,32	jul/63	120,48	dez/68	130,37	mai/74	161,87
dez/41	84,86	mai/47	233,22	out/52	183,71	mar/58	137,84	ago/63	231,00	jan/69	212,00	jun/74	166,42
jan/42	81,59	jun/47	160,23	nov/52	98,64	abr/58	103,84	set/63	188,65	fev/69	318,31	jul/74	103,57
fev/42	88,65	jul/47	89,58	dez/52	123,48	mai/58	117,15	out/63	315,60	mar/69	147,51	ago/74	104,12
mar/42	193,67	ago/47	117,10	jan/53	140,48	jun/58	161,01	nov/63	192,72	abr/69	110,28	set/74	103,15
abr/42	100,40	set/47	198,25	fev/53	117,86	jul/58	47,40	dez/63	164,69	mai/69	117,81	out/74	97,72
mai/42	281,61	out/47	134,41	mar/53	107,83	ago/58	195,63	jan/64	100,27	jun/69	78,97	nov/74	189,32
jun/42	124,09	nov/47	96,14	abr/53	183,86	set/58	190,47	fev/64	218,97	jul/69	61,75	dez/74	197,69
jul/42	105,57	dez/47	160,64	mai/53	116,54	out/58	126,88	mar/64	158,83	ago/69	129,59	jan/75	194,00
ago/42	75,64	jan/48	205,12	jun/53	153,80	nov/58	162,27	abr/64	110,41	set/69	145,72	fev/75	325,04
set/42	130,43	fev/48	161,19	jul/53	163,64	dez/58	226,95	mai/64	36,81	out/69	31,82	mar/75	227,29
out/42	166,16	mar/48	225,35	ago/53	132,11	jan/59	201,66	jun/64	104,55	nov/69	143,58	abr/75	67,62
nov/42	23,74	abr/48	117,61	set/53	223,22	fev/59	132,27	jul/64	190,89	dez/69	99,61	mai/75	77,55
dez/42	77,83	mai/48	156,83	out/53	265,44	mar/59	165,10	ago/64	151,54	jan/70	165,15	jun/75	171,96
jan/43	130,16	jun/48	95,08	nov/53	42,45	abr/59	150,64	set/64	143,75	fev/70	132,17	jul/75	82,64
fev/43	108,68	jul/48	154,16	dez/53	97,26	mai/59	120,93	out/64	110,16	mar/70	220,13	ago/75	280,47
mar/43	155,17	ago/48	99,85	jan/54	268,82	jun/59	203,87	nov/64	59,46	abr/70	81,97	set/75	242,88
abr/43	44,24	set/48	150,08	fev/54	228,73	jul/59	103,02	dez/64	216,30	mai/70	208,09	out/75	124,32
mai/43	174,66	out/48	170,96	mar/54	129,31	ago/59	292,61	jan/65	74,51	jun/70	206,48	nov/75	150,44
jun/43	131,20	nov/48	97,87	abr/54	79,41	set/59	240,18	fev/65	91,93	jul/70	168,78	dez/75	111,35
jul/43	132,59	dez/48	51,40	mai/54	100,49	out/59	109,75	mar/65	127,86	ago/70	148,74	jan/76	202,02

Tabela 4.4 - Resultados do Vetor Regional L. (continuação).

mês	Vetor L	mês	Vetor L	mês	Vetor L	mês	Vetor L	mês	Vetor L	mês	Vetor L	mês	Vetor L
ago/43	124,08	jan/49	181,00	jun/54	219,83	nov/59	74,84	abr/65	55,49	set/70	73,73	fev/76	124,85
set/43	112,93	fev/49	130,04	jul/54	259,36	dez/59	105,71	mai/65	81,48	out/70	189,93	mar/76	181,82
out/43	59,73	mar/49	169,37	ago/54	166,06	jan/60	117,04	jun/65	63,19	nov/70	97,24	abr/76	58,05
nov/43	50,79	abr/49	158,33	set/54	385,48	fev/60	175,82	jul/65	114,73	dez/70	174,06	mai/76	211,83
dez/43	82,77	mai/49	86,00	out/54	166,88	mar/60	116,06	ago/65	283,77	jan/71	214,48	jun/76	158,57
jan/44	253,98	jun/49	112,67	nov/54	48,27	abr/60	153,97	set/65	280,81	fev/71	272,87	jul/76	184,32
fev/44	131,66	jul/49	149,62	dez/54	123,37	mai/60	71,08	out/65	191,06	mar/71	204,60	ago/76	144,04
mar/44	224,08	ago/49	111,55	jan/55	99,40	jun/60	142,25	nov/65	144,72	abr/71	143,69	set/76	113,88
abr/44	47,35	set/49	180,74	fev/55	214,29	jul/60	143,71	dez/65	198,67	mai/71	112,45	out/76	139,84
mai/44	40,77	out/49	119,78	mar/55	148,48	ago/60	167,62	jan/66	156,58	jun/71	132,28	nov/76	113,87
jun/44	260,97	nov/49	42,59	abr/55	195,79	set/60	167,82	fev/66	240,41	jul/71	114,61	dez/76	154,77
jul/44	87,99	dez/49	125,02	mai/55	109,81	out/60	195,13	mar/66	191,24	ago/71	241,83	jan/77	214,23
ago/44	137,35	jan/50	113,29	jun/55	97,94	nov/60	138,23	abr/66	92,01	set/71	80,06	fev/77	224,46
set/44	93,65	fev/50	181,57	jul/55	106,60	dez/60	115,18	mai/66	33,77	out/71	56,93	mar/77	179,69
out/44	161,34	mar/50	116,28	ago/55	107,71	jan/61	113,64	jun/66	168,25	nov/71	112,15	abr/77	87,64
nov/44	72,21	abr/50	84,96	set/55	161,34	fev/61	153,56	jul/66	191,86	dez/71	174,40	mai/77	62,25
dez/44	78,46	mai/50	106,26	out/55	124,83	mar/61	211,92	ago/66	136,32	jan/72	208,33	jun/77	111,30
jan/45	98,58	jun/50	88,09	nov/55	67,87	abr/61	127,01	set/66	163,67	fev/72	183,08	jul/77	245,65
fev/45	92,89	jul/50	101,87	dez/55	95,25	mai/61	60,93	out/66	201,78	mar/72	301,58	ago/77	175,22
mar/45	91,55	ago/50	103,88	jan/56	288,97	jun/61	166,40	nov/66	97,98	abr/72	115,54	set/77	64,17
abr/45	87,49	set/50	143,43	fev/56	173,55	jul/61	105,33	dez/66	284,87	mai/72	82,92	out/77	120,80
mai/45	39,53	out/50	172,32	mar/56	121,27	ago/61	100,95	jan/67	171,96	jun/72	200,19	nov/77	139,13
jun/45	141,49	nov/50	96,57	abr/56	195,69	set/61	297,05	fev/67	199,28	jul/72	144,12	dez/77	145,65
jul/45	184,47	dez/50	123,22	mai/56	101,15	out/61	214,47	mar/67	103,58	ago/72	225,83	jan/78	120,45
ago/45	74,02	jan/51	147,12	jun/56	186,42	nov/61	151,05	abr/67	43,51	set/72	200,96	fev/78	111,00
set/45	149,04	fev/51	191,36	jul/56	84,30	dez/61	180,79	mai/67	72,39	out/72	149,50	mar/78	81,78
out/45	86,79	mar/51	110,50	ago/56	120,13	jan/62	149,77	jun/67	91,09	nov/72	161,34	abr/78	19,11
nov/45	106,99	abr/51	142,07	set/56	159,84	fev/62	97,95	jul/67	110,34	dez/72	186,43	mai/78	48,01
dez/45	122,87	mai/51	86,43	out/56	162,52	mar/62	144,23	ago/67	132,98	jan/73	239,43	jun/78	90,21
jan/46	306,96	jun/51	86,00	nov/56	59,45	abr/62	86,97	set/67	364,84	fev/73	192,28	jul/78	152,45
fev/46	155,90	jul/51	40,50	dez/56	100,83	mai/62	64,15	out/67	119,33	mar/73	92,06	ago/78	119,42
mar/46	78,04	ago/51	59,38	jan/57	177,01	jun/62	69,00	nov/67	126,00	abr/73	102,37	set/78	104,17
abr/46	65,71	set/51	204,16	fev/57	124,03	jul/62	103,55	dez/67	125,97	mai/73	111,76	out/78	161,11

A espacialização da chuva foi obtida pelo método de Thiessen, com seus ponderadores variando em função das falhas apresentadas pelos postos em cada intervalo de tempo. A Tabela 4.5 apresenta os ponderadores totais de Thiessen utilizados.

Tabela 4.5 – Ponderadores de Thiessen utilizados no modelo chuva-vazão.

Posto Fluviométrico	Posto Pluviométrico	Ponderador Thiessen
Passo do Louro 87366000	Canela (02950009)	0,23
	Passo do Louro (02950022)	0,68
	Capão dos Coxos (02950010)	0,09
Igrejinha 87372000	Canela (02950009)	0,10
	Passo do Louro (02950022)	0,49
	Renania (02950026)	0,29
	Taquara (02950037)	0,12

A evapotranspiração potencial utilizada foi obtida pelo método de Thorntwaite, que é baseado em dados de temperatura, a partir dos dados da Estação Meteorológica de Cachoeirinha. Esta estação possui dados de 1957 a 1984, e foi operada pelo antigo IPAGRO, atual FEPAGRO. A Tabela 4.6 apresenta os valores médios mensais de evapotranspiração potencial calculados.

Tabela 4.6 – Cálculo da evapotranspiração potencial (em mm).

jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
148	111	94	61	43	35	47	60	86	104	123	142	1054

O modelo chuva-vazão utilizado foi o MODHAC, já descrito no Capítulo 2. Na aplicação do MODHAC, foram realizadas tentativas de ajuste para os postos fluviométricos Passo do Louro e Igrejinha, resultando em ajustes insatisfatórios, tanto na compatibilização dos volumes médios escoados observados e calculados, quanto nos deflúvios mínimos, que são os mais importantes para estimativa de disponibilidade hídrica para fins de outorga. Foram verificadas inconsistências nas séries de vazões dos dois postos utilizados. A Figura 4.4, por exemplo, mostra algumas inconsistências no hidrograma do posto Passo do Louro, que para alguns eventos de precipitação não têm correspondência em vazões e, por outro lado, apresenta picos de cheia sem que tivesse havido qualquer evento significativo de chuva.

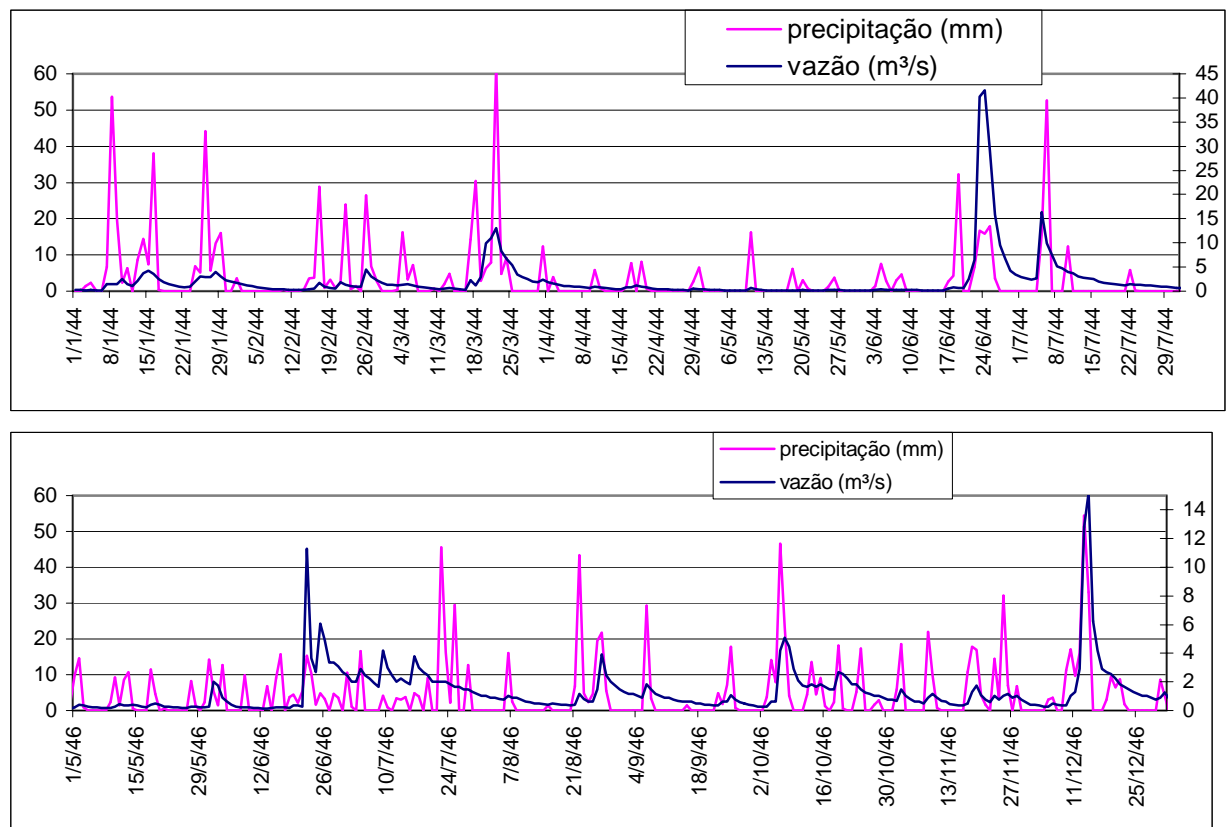


Figura 4.4 – Hietogramas da precipitação espacializada por Thiessen e hidrogramas correspondentes do posto fluviométrico Passo do Louro, para o período de janeiro a julho de 1944 e de maio a dezembro de 1946.

Assim, foram utilizados para extensão das séries de vazões os ajustes obtidos por Magna (1996) para sub-bacias do rio dos Sinos. Foram utilizados dois ajustes. O primeiro é válido para bacias com subsolos predominantemente basálticos (rochas vulcânicas), e o segundo é válido para bacias com subsolos predominantemente areníticos. O primeiro ajuste foi utilizado para extensão das séries de vazões do posto fluviométrico de Passo do Louro e o segundo ajuste utilizado para o posto fluviométrico de Igrejinha. As Tabelas 4.7 e 4.8 apresentam os parâmetros ajustados por Magna (1996), utilizados neste trabalho.

Tabela 4.7 – Parâmetros ajustados para o Posto Passo do Louro (87366000).

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
RSPX	19	IMAX	115	ASS	0,2
RSSX	63	IMIN	0	ASB	0,018
RSBX	65	IDEC	0	PRED	999
RSBF	0	ASP	0	CEVA	0

Tabela 4.8 – Parâmetros ajustados válidos para o Posto Igrejinha (87372000).

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
RSPX	19	IMAX	170	ASS	0,12
RSSX	75	IMIN	0	ASB	0,008
RSBX	135	IDEC	0	PRED	999
RSBF	0	ASP	0	CEVA	0

A Figura 4.5 apresenta a comparação, para o posto Passo do Louro, dos hidrogramas observado e calculado pelo modelo chuva-vazão com os parâmetros adotados.

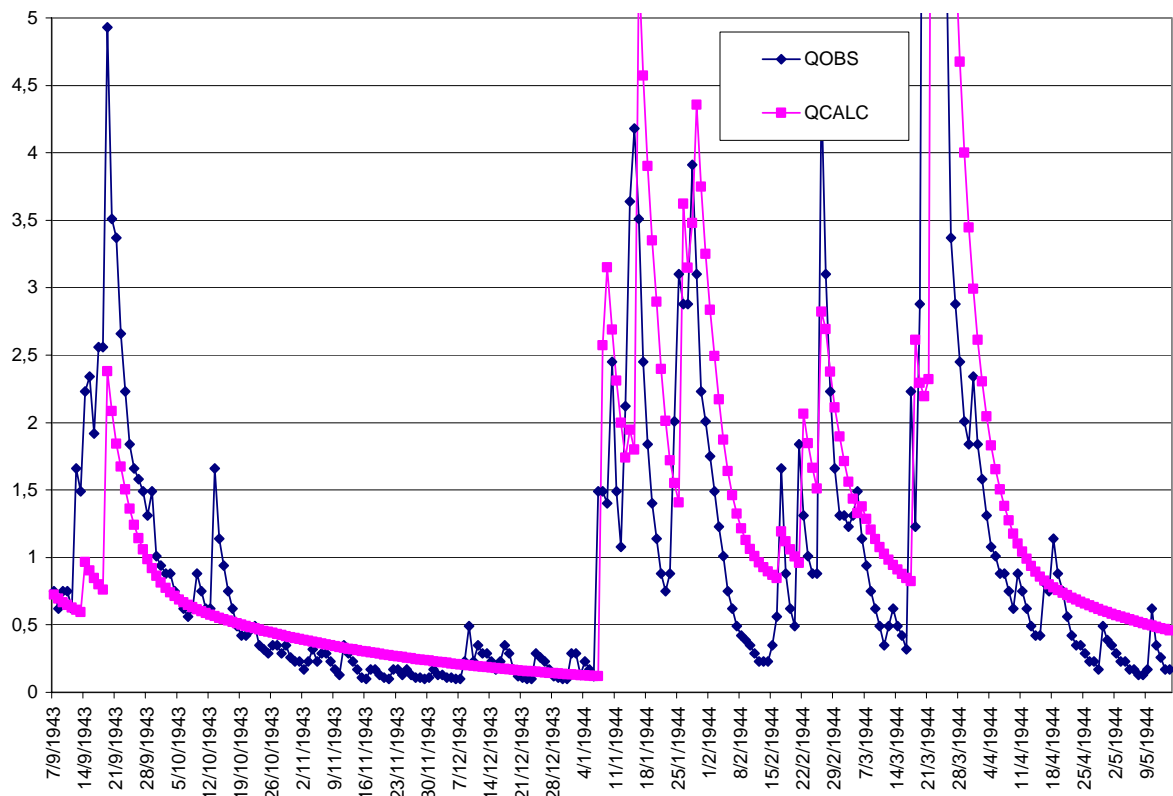


Figura 4.5 – Vazão observada e calculada na seção Passo do Louro para o período de setembro de 1943 a maio de 1944.

A partir dos ajustes utilizados, foram estendidas as séries de vazões dos postos Passo do Louro e Igrejinha, para o período de 1941 a 1978. A partir de relações de áreas entre os postos e os Pontos de Controle (PC's) adotados, foram geradas séries de vazões para os PC's 1 e 2, a partir do posto Passo do Louro, e para os PC's 3 a 6 a partir do posto Igrejinha. O Anexo 1 apresenta as vazões incrementais geradas para os Pontos de Controle.

4.2 Discretização da bacia e definição dos Pontos de Controle (PC's)

A bacia foi discretizada em 6 Pontos de Controle, segundo confluências da rede de drenagem, pontos de captação e lançamento e postos fluviométricos. Todas as captações e lançamentos, pontuais ou difusos, foram concentrados nos Pontos de Controle. A Figura 4.6 apresenta a discretização da bacia.

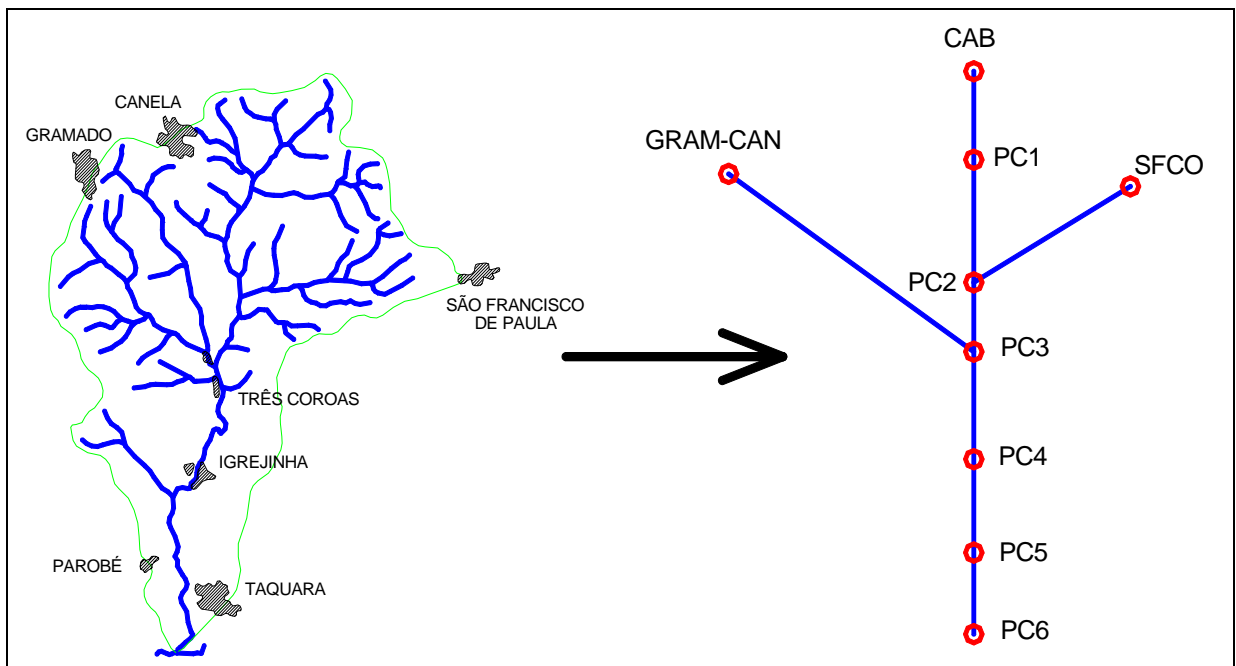


Figura 4.6 – Discretização da bacia e definição dos Pontos de Controle.

4.3 Levantamento de Demandas na Bacia

O estudo realizado por Magna (1996) apresenta os usos consuntivos e não consuntivos presentes na bacia do rio Paranhana. A seguir os principais usos consuntivos:

- Abastecimento público, consistindo de captações de água pela CORSAN para todos os municípios da Bacia. Há alguma significância na captação de água subterrânea nos Municípios de São Francisco de Paula, Três Coroas, Igrejinha e Parobé. Recentemente, muitos hotéis e pousadas nos municípios de Canela e Gramado têm perfurado poços para consumo nas suas dependências. Os sistemas de abastecimento público de Canela e Gramado acabam promovendo transposição de vazões da bacia do rio Caí para o rio Paranhana, na forma de efluentes domésticos e industriais.
- Indústrias, especialmente no trecho inferior da bacia.
- Irrigação e Aqüicultura. A irrigação tem importância em termos de demanda hídrica no Município de Taquara. A aqüicultura está em fase inicial e ocorre em pequenos açudes nos Municípios de Gramado, Canela e Três Coroas.
- Dessedentação de animais, principalmente rebanhos bovinos, suínos e ovinos.

Principais usos não consuntivos:

- Diluição de efluentes: despejos líquidos domésticos, industriais e rurais, além de lixívia de aterros sanitários e lixões.
- Geração de energia elétrica. Nas cabeceiras dos rios Paranhana e Santa Maria, existem duas Hidrelétricas, Bugres e Canastra, alimentadas pela transposição de vazões da bacia do rio Caí, através de adutoras que transpõem a água do sistema de barragens Divisa, Blang e Salto. A vazão de transposição varia entre 2 e 9 m³/s e as usinas têm potências instaladas de 11,5 MW (Bugres) e 44 MW (Canastra).
- Recreação, com a presença de alguns balneários e a prática do *rafting*.
- Harmonia paisagística e preservação dos ecossistemas.

Em função da defasagem do levantamento de demandas obtido por Magna (1996), levantou-se novamente, neste trabalho, as informações de demandas consuntivas e não consuntivas, estabelecendo como cenários as demandas atuais (obtidas ao longo do ano de 2003) e futuras, que são projeções de demandas para o ano de 2015. A seguir, serão apresentados os levantamentos de demandas para os diversos setores usuários e as projeções de demandas consideradas. Salienta-se que, para os propósitos deste trabalho, foram utilizados consumos específicos, coeficientes de atenuação de cargas poluentes e percentuais de retorno das vazões captadas para diversos setores usuários conforme Magna (1996), sem maiores preocupações na adoção destes valores.

4.3.1 Abastecimento Público

Para estimativa das demandas para abastecimento público, foram utilizados dados secundários de população, obtidos do Censo Demográfico de 2000 (IBGE, 2000). A Tabela 4.9 apresenta os dados de população do ano de 2000 da bacia do rio Paranhana.

Tabela 4.9 – População da bacia no ano de 2000 (IBGE, 2000).

Município	População total	População urbana	População rural
Gramado	28593	23328	5265
Canela	33625	30760	2865
São Francisco de Paula	19725	12269	7456
Três Coroas	19430	17067	2363
Igrejinha	26767	25530	1237
Parobé	52825	43125	9700
Taquara	44776	43439	1337
Total	225.741	195.518	30.223

Para as projeções de população para os cenários estudados no trabalho, foi utilizada a estimativa de população realizada pela FEE para o ano de 2002. A partir desta estimativa, foi ajustada uma progressão geométrica entre os anos de 2000 e 2002 para cada município, que gerou uma taxa de crescimento anual por município. A progressão geométrica segue a Equação 4.2.

$$P_t = P_0 e^{K_s(t-t_0)} \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde:

P_t – População no período t;

P_0 – População no período 0;

K_s – Coeficiente de crescimento, resultado do ajuste;

t – período t (anos);

t_0 – período 0 (inicial).

A partir das taxas anuais de crescimento obtidas, foram realizadas projeções de população para os cenários atual e futuro deste trabalho. A Tabela 4.10 apresenta os resultados da projeção.

Tabela 4.10 – Resultados da projeção de população para os cenários atual e 2015.

Município	Atual			2015			Taxa de cresc (Ks) ¹	
	Pop. total	Pop. urbana	Pop. rural	Pop. total	Pop. urbana	Pop. Rural	Urb.	Rur.
Gramado	30941	25843	5098	43405	38924	4481	3,41	-1,08
Canela	36790	34021	2770	53324	50905	2418	3,36	-1,13
São Francisco de Paula	19928	13016	6912	21593	16487	5106	1,97	-2,52
Três Coroas	20934	18674	2260	28654	26762	1892	3,00	-1,48
Igrejinha	28775	27606	1169	38673	37742	931	2,61	-1,89
Parobé	55922	46735	9187	71851	64458	7393	2,68	-1,81
Taquara	48960	47677	1283	70274	69184	1089	3,10	-1,36
Total	242250	213571	28679	327773	304462	23311		

¹ Em % a.a.

Para estimativa dos consumos para abastecimento público urbano e rural, foi utilizado o consumo de 180 L/hab.dia, valor adotado por Magna (1996). A Tabela 4.11 apresenta as demandas de abastecimento urbano e rural.

Tabela 4.11 – Demandas para abastecimento urbano e rural.

Município	Atual		2015	
	Abast. Urbano (m ³ /s)	Abast. Rural (m ³ /s)	Abast. Urbano (m ³ /s)	Abast. Rural (m ³ /s)
Gramado	0,054	0,011	0,081	0,009
Canela	0,071	0,006	0,106	0,005
São Fco. de Paula	0,027	0,014	0,034	0,011
Três Coroas	0,039	0,005	0,056	0,004
Igrejinha	0,058	0,002	0,079	0,002
Parobé	0,099	0,003	0,144	0,002
Taquara	0,097	0,019	0,134	0,015
Total	0,445	0,060	0,634	0,049

Os consumos urbanos foram concentrados nos Pontos de Controle onde ocorrem as captações da CORSAN no rio Paranhana para atendimento aos municípios. Os valores encontrados foram ajustados aos valores da captação fornecidos pela CORSAN, que em geral são maiores, pois englobam as perdas do sistema. As sedes dos Municípios de Gramado, Canela e São Francisco de Paula não são abastecidas por captações no rio Paranhana.

Os consumos rurais foram concentrados nos Pontos de Controle em função das áreas de cada município que drenam para estes.

A Tabela 4.12 apresenta as demandas discretizadas nos Pontos de Controle, sendo que os consumos urbanos já estão ajustados pelos valores fornecidos pela CORSAN.

Tabela 4.12 – Demandas para abastecimento urbano e rural. Discretizadas nos Pontos de Controle.

Ponto de Controle	Cons. urbano Atual (m ³ /s)	Cons. urbano 2015 (m ³ /s)	Cons. rural Atual (m ³ /s)	Cons. rural 2015(m ³ /s)
PC1	-	-	0,002	0,002
PC2	-	-	0,002	0,002
PC3	0,100	0,130	0,006	0,005
PC4	-	-	0,001	0,001
PC5	-	-	0,001	0,001
PC6	0,130	0,180	0,002	0,002

Apesar de não ter sido considerado neste trabalho, é interessante que seja prevista uma redução, para os cenários futuros, dos consumos específicos para abastecimento doméstico urbano a serem contemplados nas outorgas, induzindo que se promovam ações de reúso da água nas economias e também redução de perdas nos sistemas de captação e, especialmente, de distribuição.

4.3.2 Demandas Industriais

As demandas industriais foram levantadas a partir do cadastro de indústrias da FEPAM. Os consumos por unidade industrial produzida foram obtidos de Von Sperling (1996). As projeções de demandas industriais foram estimadas com base na estimativa de crescimento do setor industrial, de 5,9 % a.a. (FEE, 1995 *apud* Magna, 1996).

A Tabela 4.13 apresenta os consumos industriais por município, para os cenários atual e de 2015.

Tabela 4.13 – Demandas industriais na bacia do rio Paranhana.

Município	Atual	2015
	Consumo industrial (m ³ /s)	Consumo industrial (m ³ /s)
Gramado	0,001	0,002
Canela	0,001	0,002
São Francisco de Paula	0,000	0,000
Três Coroas	0,008	0,016
Igrejinha	0,014	0,028
Parobé	0,032	0,063
Taquara	0,007	0,013
Total	0,063	0,124

Foi adotado que toda captação para indústria é superficial e não abastecida pela rede pública de abastecimento. A Tabela 4.14 apresenta consumos industriais por Ponto de Controle.

Tabela 4.14 – Consumos para indústria (m³/s).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Atual	0	0	0	0,010	0,014	0,039
2015	0	0	0	0,020	0,028	0,076

4.3.3 Dessedentação animal

O levantamento de número de cabeças de animais por município foi obtido do Censo Agropecuário do IBGE (1996) e projetados para os cenários atual e futuro segundo estimativas da FEE (1995, *apud* Magna, 1996), que projeta uma taxa de 2 % a.a. Os consumos unitários por animal foram extraídos de EPA (1973, *apud* Magna, 1996) e constam da Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Consumos por cabeça de animal (extraído de EPA, 1973, *apud* Magna, 1996).

Animal	Consumo (L/cab.dia)	animal	Consumo (L/cab.dia)
Bovino	34,5	Ave	0,35
Suíno	34,5	Ovino	4,5

Para concentrar as demandas para dessedentação nos Pontos de Controle, foi utilizada a proporção de área de cada município que drena para os Pontos de Controle. A Tabela 4.16 apresenta os consumos para dessedentação animal por Ponto de Controle para os cenários estudados.

Tabela 4.16 – Consumos para dessedentação animal (m³/s).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Atual	0,001	0,002	0,003	0,000	0,001	0,005
2015	0,002	0,002	0,004	0,001	0,001	0,006

4.3.4 Irrigação

Os dados de consumos de água para irrigação foram obtidos de informações de subsídio ao Plano Nacional de Recursos Hídricos (ANA, 2003). Os dados por Município estão apresentados na Tabela 4.17. As projeções de crescimento agrícola foram estimadas em 3,75 % a.a. (FEE, 1995, *apud* Magna, 1996).

Tabela 4.17 – Consumos para irrigação por Município.

Município	Consumo atual (m³/s)	Consumo 2015 (m³/s)
Gramado	0,016	0,025
Canela	0,002	0,003
São Francisco de Paula	0,134	0,208
Três Coroas	0,004	0,006
Igrejinha	0,000	0,000
Parobé	0,004	0,006
Taquara	0,026	0,040

Os consumos foram concentrados nos Pontos de Controle em função das áreas de cada município que drenam para os mesmos. Os consumos para os Pontos de Controle estão na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 – Consumos para irrigação (m³/s).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
2003	0,001	0,003	0,007	0,001	0,001	0,002
2015	0,001	0,005	0,011	0,001	0,001	0,003

Lançamentos de efluentes

Magna (1996) calculou as cargas poluidoras potenciais anuais atenuadas na bacia do rio dos Sinos para o ano de 1996, contemplando coeficientes de atenuação das cargas poluentes, pelo fato de que nem toda a carga potencial estimada nas sub-bacias aporta nos cursos d'água. Metodologia semelhante foi utilizada por Pereira (2002) realizou estudo das cargas poluidoras potenciais totais anuais para o ano de 2000 na bacia do rio dos Sinos, de forma indireta, com base em dados da literatura. Foram calculadas as cargas poluidoras potenciais das seguintes fontes de poluição: efluentes domésticos urbanos, efluentes domésticos rurais, atividade de criação de animais, efluentes industriais tratados e efluentes de irrigação do arroz. Ambos os trabalhos abordaram os parâmetros coliformes fecais, DBO₅, nitrogênio total, fósforo total e sólidos totais.

Neste trabalho, foi utilizada metodologia idêntica à utilizada por Pereira (2002) e Magna (1996), com o uso dos mesmos coeficientes unitários de utilização e retorno da água para os diversos setores usuários e mesmos coeficientes de atenuação das cargas potenciais poluidoras; porém as cargas de poluentes lançadas na bacia foram atualizadas para o cenário atual (correspondente ao levantamento de demandas do ano de 2003) e projetadas para o ano de 2015, conforme é apresentado a seguir.

4.3.5 Saneamento urbano

Para estimativa de vazões de lançamento de esgotamento sanitário, foi adotado um valor de 150 L/s, correspondentes a 80% do consumo específico por habitante utilizado para determinar as demandas de captação para abastecimento doméstico urbano, conforme Magna (1996). Apesar de alguns municípios não captarem água na bacia para abastecimento público, todos os municípios têm áreas urbanas na bacia. A proporção das populações urbanas de cada município que lançam seus efluentes na bacia foi extraída de Magna (1996) e concentrada nos Pontos de Controle conforme discretização apresentada no item 4.2. A Tabela 4.19 apresenta as vazões de lançamento para cada Ponto de Controle.

Tabela 4.19 – Vazões de lançamento de esgotamento sanitário urbano por Ponto de Controle (m³/s).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Atual	0,000	0,004	0,045	0,032	0,048	0,158
2015	0,000	0,005	0,067	0,046	0,066	0,224

As cargas potenciais de poluentes devido ao esgotamento sanitário urbano foram estimadas com base nos dados de população do Censo Demográfico do IBGE (2000) e nas concentrações estimadas em Von Sperling (1996). As projeções para os anos de 2003 e 2015 foram as mesmas utilizadas nas estimativas de consumo para abastecimento público. As cargas foram atenuadas segundo os coeficientes de atenuação médios para esgoto doméstico estimados por DMAE *apud* Magna (1996). Os coeficientes de atenuação foram estimados a partir das cargas poluentes potenciais e das cargas poluentes efetivamente medidas pela FEPAM em seções do rio dos Sinos (Magna, 1996). A Tabela 4.20 apresenta as cargas atenuadas, para DBO, devidas ao esgotamento sanitário.

Tabela 4.20 – Cargas atenuadas (que chegam aos Pontos de Controle) de DBO (kg/dia). Coeficiente de atenuação: 0,38.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Atual	0,00	37,85	442,32	319,31	472,07	1558,49
2015	0,00	47,92	663,1	457,63	645,39	2208,10

4.3.6 Saneamento rural

As vazões de lançamento de efluentes domésticos rurais são apresentadas na Tabela 4.21. As cargas potenciais de DBO devido ao esgotamento sanitário rural foram estimadas com base nos dados de população rural por município do Censo Demográfico do IBGE (2000) e nas concentrações estimadas em Von Sperling (1996), e constam da Tabela 4.22. Para estimar os lançamentos devidos a efluentes domésticos nos Pontos de Controle, foi utilizada a proporção da área de cada município que drena para os Pontos de Controle.

Tabela 4.21 – Vazões de lançamento de esgotamento sanitário rural por Ponto de Controle (m³/s).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Atual	0,002	0,002	0,005	0,001	0,001	0,002
2015	0,002	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001

Tabela 4.22 – Cargas de DBO por Ponto de Controle (kg/dia).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Atual	57,58	50,17	151,66	22,09	32,83	59,53
2015	50,28	42,24	131,16	18,49	26,81	48,10

4.3.7 Poluição difusa rural

As áreas irrigadas foram obtidas de informações de subsídio ao Plano Nacional de Recursos Hídricos e o número de animais extraídos do Censo Agropecuário do IBGE (1996) e projetadas para os cenários atual e futuro, segundo projeções da FEE (1995 *apud* Magna, 1996), de acordo com o crescimento previsto para o setor agrícola de 3,75% a.a.

As cargas de poluentes devidas à poluição difusa rural (agricultura e criação de animais) foram estimadas com base em Magna (1996). A vazão de lançamento devida à agricultura e à criação de animais é de difícil estimativa, pois dependem fundamentalmente do escoamento superficial, que é função do regime de chuvas. Para este trabalho, adotou-se uma vazão de lançamento constante em todos os Pontos de Controle, igual a 1 L/s. Este valor baixo não acresce vazões significativas ao rio, que poderiam alterar a disponibilidade hídrica. A Tabela 4.23 apresenta os resultados das cargas de DBO devidas à poluição difusa discretizadas nos Pontos de Controle.

Tabela 4.23 – Cargas de DBO por Ponto de Controle (kg/dia).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Atual	0,00	13,25	154,81	111,76	166,23	545,47
2015	0,00	16,77	232,09	160,17	225,89	772,84

4.3.8 Indústria

Os lançamentos industriais foram levantados do cadastro SISAUTO/FEPAM. O parâmetro considerado foi DBO. Para estimativa das cargas brutas de DBO, foram utilizadas as concentrações constantes do cadastro e, na sua ausência, concentrações padronizadas de DBO dos efluentes das diversas indústrias (Von Sperling, 1996). Quando não se dispunha das vazões lançadas pela indústria, utilizaram-se as cargas específicas de DBO por unidade de produção (Von Sperling, 1996). A Tabela 4.24 apresenta os resultados das cargas de DBO lançadas por município. As projeções de crescimento das cargas lançadas foram baseadas na estimativa de crescimento do setor industrial, de 5,9 % a.a. (FEE, 1995 *apud* Magna, 1996).

Tabela 4.24 – Cargas brutas de DBO lançadas por município (kg/dia).

Município	Carga DBO 2003	Carga DBO 2015
Gramado	85,27	169,26
Canela	51,30	101,83
São Francisco de Paula	0,00	0,00
Três Coroas	1504,00	2985,49
Igrejinha	4266,35	8468,84
Parobé	8775,02	17418,68
Taquara	1502,70	2982,91

A Tabela 4.25 apresenta as cargas industriais de DBO por Ponto de Controle.

Tabela 4.25 – Cargas brutas industriais de DBO por Ponto de Controle (kg/dia).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
2003	0,00	0,00	52,43	1504,00	4266,35	10172,53
2015	0,00	0,00	104,08	2985,49	8468,84	20192,79

A maior parte das indústrias da bacia trata seus efluentes. Os índices máximos de abatimento de DBO obtidos pela indústria, segundo dados obtidos junto ao cadastro de indústrias da FEPAM, são apresentados na Tabela 4.26. Observa-se a alta eficiência obtida, para o parâmetro DBO, no tratamento dos efluentes.

Tabela 4.26 – Valores máximos de abatimento de DBO de algumas das indústrias da bacia do rio Paranhana, por tipo de indústria.

Tipo de indústria	Abatimento DBO	Tipo de indústria	Abatimento DBO
Calçados	94%	Matadouros	99%
Bebidas	97%	Plásticos	86%
Borrachas / solados	96%	Massas	80%
Leite	94%	Rações	92%

As Tabelas 4.27 e 4.28 apresentam um resumo das vazões demandadas em cada PC e das cargas de DBO lançadas, nos cenários atual e 2015.

Tabela 4.27 – Resumo das demandas e cargas por PC, no cenário atual.

	Vazão de consumo (m ³ /s)						Carga de DBO lançada (kg/dia)		
	Cons. humano urbano	Cons. humano rural	desejável	indústr.	irrig.	TOTAL	industrial	urbano	rural
PC1	-	0,002	0,001	-	0,001	0,004	-	-	57,58
PC2	-	0,002	0,002	-	0,003	0,007	-	37,85	50,17
PC3	0,100	0,006	0,003	-	0,007	0,116	52,43	442,32	151,66
PC4	-	0,001	-	0,010	0,001	0,012	1.504,00	319,31	22,09
PC5	-	0,001	0,001	0,014	0,001	0,017	4.266,35	472,07	32,83
PC6	0,130	0,002	0,005	0,039	0,002	0,178	10.172,53	1.558,49	59,53

Tabela 4.28 – Resumo das demandas e cargas por PC, no cenário de 2015.

	Vazão de consumo (m ³ /s)						Carga de DBO lançada (kg/dia)		
	Cons. humano urbano	Cons. humano rural	dessedentação	indústr.	Irrig.	TOTAL	industrial	urbano	rural
PC1	-	0,002	0,002	-	0,001	0,005	-	-	50,28
PC2	-	0,002	0,002	-	0,005	0,009	-	47,92	42,24
PC3	0,130	0,005	0,004	-	0,011	0,150	104,08	663,10	131,16
PC4	-	0,001	0,001	0,020	0,001	0,023	2.985,49	457,63	18,49
PC5	-	0,001	0,001	0,028	0,001	0,031	8.468,84	645,39	26,81
PC6	0,180	0,002	0,006	0,076	0,003	0,267	20.192,79	2.208,10	48,10

4.4 Definição de usos prioritários

As prioridades de uso da água são estabelecidas em decisões políticas, apoiadas em estudos técnicos. Nesta etapa, a orientação deve estar contida no Plano de Recursos Hídricos da Bacia, elaborado segundo as diretrizes do Plano Estadual de Recursos Hídricos (Lanna, 1999).

A constituição do Estado do Rio Grande do Sul estabelece, em seu artigo 171, o abastecimento doméstico como uso prioritário da água. Assim, a ordem de prioridades adotada foi a seguinte:

- 1 - Vazão ecológica, abastecimento público urbano e rural e dessedentação de animais,
- 2 - Captação de água para indústria e para irrigação,
- 3 - Vazão de diluição para os lançamentos industriais, domésticos urbanos e rurais.

A prática de *rafting* não foi contemplada nas simulações por se tratar de um uso não consuntivo que necessita de certas condições de vazão no rio Paranhana apenas em um pequeno trecho onde é praticado, que são obtidas pela operação eventual de um reservatório a montante. Os volumes de água reservados para fins de vazão ecológica não foram considerados, neste trabalho, disponíveis para diluição de efluentes.

As prioridades de uso foram utilizadas para aplicação de critérios de outorga que contemplam priorização das demandas.

4.5 Cálculo das vazões de diluição e auto-depuração

As vazões de diluição foram calculadas segundo equação descrita no item 2.7.1.

Foi utilizado, neste trabalho, o enquadramento aprovado pelo COMITESINOS para o rio Paranhana, apresentado no item 2.4. A Tabela 4.29 apresenta as classes para cada Ponto de Controle e as correspondentes concentrações de DBO permitidas.

Tabela 4.29 – Enquadramento do rio Paranhana nos Pontos de Controle e concentrações de DBO correspondentes.

Ponto de Controle	Classe	Conc. Permitida (mg DBO/L)	Ponto de Controle	Classe	Conc. Permitida (mg DBO/L)
PC1	1	3	PC4	2	5
PC2	1	3	PC5	2	5
PC3	2	5	PC6	2	5

A autodepuração do parâmetro DBO foi calculada utilizando o modelo de Streeter-Phelps, descrito no item 2.7.3. O coeficiente de desoxigenação utilizado foi $k_1 = 0,12 \text{ d}^{-1}$, valor mais baixo adotado para efluentes secundários, conforme apresentado na Tabela 2.7.

O coeficiente de uso da vazão de diluição B_p foi calculado conforme item 2.8. A Tabela 4.30 apresenta os parâmetros do escoamento utilizados para a aplicação do modelo de Streeter-Phelps e os coeficientes B_p calculados para cada trecho definido pela discretização da bacia, para o parâmetro DBO.

Tabela 4.30 – Parâmetros hidráulicos e coeficientes de utilização da vazão de diluição (B_p), calculados para o parâmetro DBO.

trecho	Compr. (m)	Veloc. (m/s)*	Tempo (dias)	B_p
PC1 até PC2	8582	0,102	0,974	0,890
SFCO até PC2	-	-	-	1,000
PC2 até PC3	6280	0,070	1,038	0,883
GRAM-CAN até PC3	-	-	-	1,000
PC3 até PC4	1830	0,070	0,303	0,964
PC4 até PC5	7583	0,070	1,254	0,860
PC5 até PC6	15147	0,070	2,504	0,740

* Obtida a partir dos menores valores históricos das medições de descarga realizadas nas estações Passo do Louro (código 87366000) e Igrejinha (código 87372000), disponíveis no banco de dados *Hidroweb* (<http://hidroweb.ana.gov.br>)

Os lançamentos da sede do Município de São Francisco de Paula são pouco significativos, logo se optou por não se considerar qualquer depuração do trecho SFCO até PC2. Os lançamentos potenciais de esgotos domésticos das sedes dos municípios de Gramado e Canela na bacia já foram atenuados por coeficiente de atenuação estimado por Magna (1996), descrito no item 4.3.5. Logo, optou-se por não considerar qualquer depuração no trecho GRAM-CAN até o PC3.

Os dois reservatórios existentes no rio Paranhana (Canastra e Laranjeiras) foram desconsiderados na simulação da depuração do parâmetro DBO, pois são de pequeno volume (ambos com cerca de 0,4 hm³) e operam a fio d'água.

4.6 Simulação e avaliação dos critérios de outorga para captação e diluição de poluentes

Os critérios de outorga simulados foram os seguintes:

- Critério da vazão de referência: frações da Q₉₅ e frações da Q₉₅ mensal;
- Critério da vazão de referência mensal;
- Critério da garantia de suprimento;
- Critério da vazão excedente.

Os cenários de demandas simulados em todos os critérios foram os seguintes:

- Cenário de demandas atual e em 2015, sem quaisquer tratamentos de efluentes;
- Cenário de demandas atual e em 2015, com tratamento de efluentes industrial ao nível atual, segundo cadastro da FEPAM, mais abatimento de 80% da DBO remanescente do tratamento atualmente praticado; e sem tratamento de esgotos domésticos;
- Cenário de demandas atual e em 2015, com tratamento de efluentes industrial aos níveis atuais, segundo cadastro da FEPAM, mais abatimento de 80% da DBO restante e tratamento de efluentes domésticos urbanos ao nível de 80% de abatimento de DBO;
- Cenário de demandas atual com tratamento de efluentes industrial e doméstico aos níveis atuais, segundo cadastro da FEPAM;
- Cenário de demandas atual, com níveis de tratamento correspondentes necessários para o atendimento das concentrações máximas de DBO permitidas pela FEPAM para os lançamentos industriais e de saneamento (padrões de lançamento segundo a Portaria SSMA nº. 05/1989) quando do licenciamento ambiental.

Os cenários acima foram simulados na situação de se desconsiderar a transposição de vazões oriundas do sistema Salto que aportam na bacia e considerando a transposição num valor constante de 2m³/s.

Foram utilizadas planilhas Excel para simulação de critérios baseados em vazões de referência e o programa PROPAGAR para simulação dos critérios de outorga analisados a

partir das séries históricas de vazões (critérios da garantia de suprimento e da vazão excedente), cujas sistemáticas de balanço hídrico foram apresentadas no Capítulo 2.

Os resultados deste item serão apresentados no Capítulo 5 – Resultados e Avaliação da Aplicação dos Critérios de Outorga.

5. RESULTADOS E AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OUTORGA.

5.1 Critério da vazão de referência considerando como vazão outorgável 70% da Q95

Neste critério, a vazão máxima outorgável em cada Ponto de Controle é, no máximo, 70% da Q₉₅. Assume-se que a vazão ecológica é atendida prioritariamente com, no mínimo, 30% da Q₉₅. Cabe frisar que esta vazão mínima ecológica não foi alvo de qualquer avaliação de sua real adequação em termos ambientais. As demandas foram priorizadas na seguinte ordem:

- 1 Demandas primárias: abastecimento urbano, rural e dessedentação de animais;
- 2 Demandas secundárias: captação para indústrias e irrigação;
- 3 Demandas terciárias: vazões de diluição para efluentes domésticos urbanos, rurais e industriais.

Neste critério, as demandas de menor prioridade só são atendidas após o atendimento às demandas de maior prioridade, dentro de um mesmo Ponto de Controle. Na aplicação deste critério, não se reservaram vazões de um dado Ponto de Controle para um uso prioritário localizado a jusante.

As Tabelas 5.1 e 5.2 e as Figuras 5.1 a 5.6 apresentam os resultados para os cenários simulados.

Tabela 5.1 – Critério da vazão de referência no cenário de demandas atual, com transposição 2m³/s.

Ponto de Controle	Atendimento às demandas				
	Primárias	Secundárias	Terciárias ¹	Terciárias ²	Terciárias ³
PC1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC3	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC4	Sim	Sim	Não	Não	Sim
PC5	Sim	Sim	Não	Não	Não
PC6	Sim	Sim	Não	Não	Não

¹ cenário sem qualquer tratamento de efluentes;

² cenário com indústrias ao nível de tratamento atual e saneamento com nível de tratamento de 80%;

³ cenário com saneamento com nível de tratamento de 80% e indústrias ao nível de tratamento atual acrescido de 80% de abatimento na DBO remanescente.

Tabela 5.2 – Critério da vazão de referência no cenário de demandas de 2015, com transposição 2m³/s.

Ponto de Controle	Atendimento às demandas				
	Primárias	Secundárias	Terciárias ¹	Terciárias ²	Terciárias ³
PC1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC3	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
PC4	Sim	Sim	Não	Não	Sim
PC5	Sim	Sim	Não	Não	Não
PC6	Sim	Sim	Não	Não	Não

¹ cenário sem qualquer tratamento de efluentes;

² cenário com indústrias ao nível de tratamento atual e saneamento com nível de tratamento de 80%;

³ cenário com saneamento com nível de tratamento de 80% e indústrias ao nível de tratamento atual acrescido de 80% de abatimento na DBO remanescente.

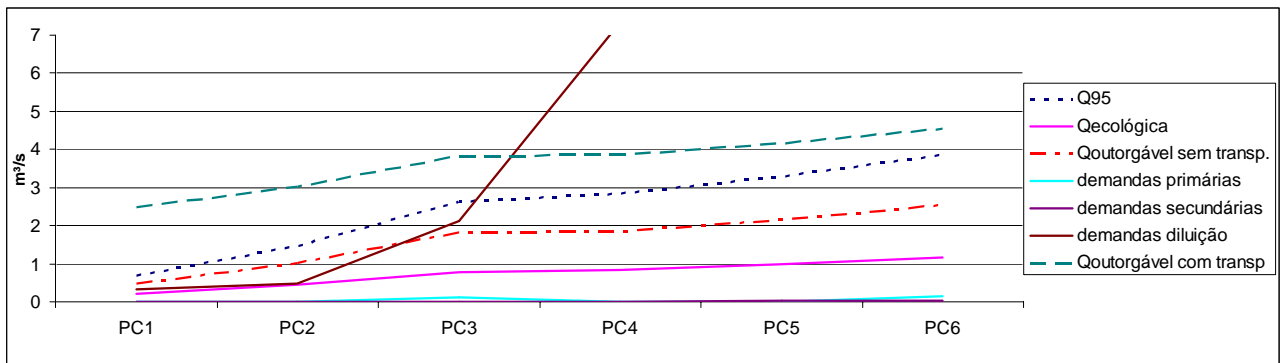


Figura 5.1 - Cenário atual de demandas sem qualquer tratamento de efluentes dos setores indústria e saneamento.

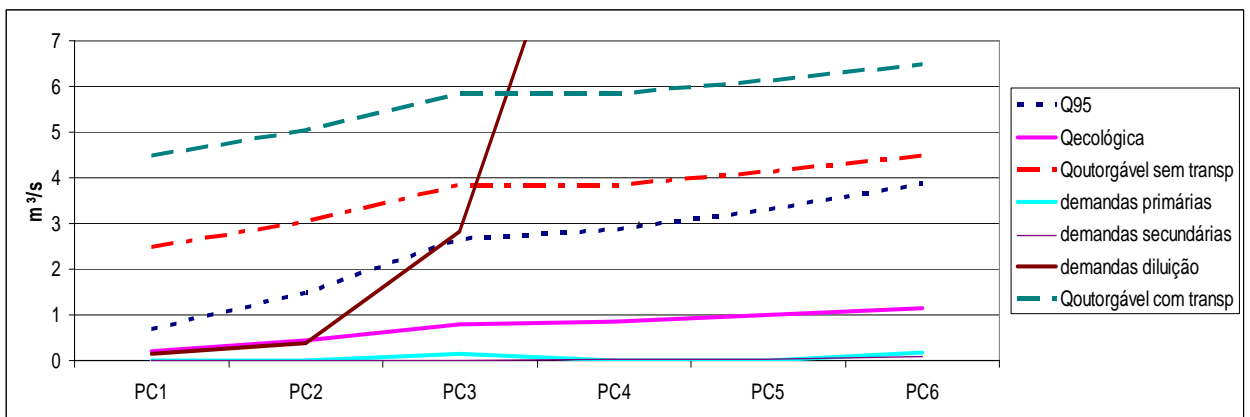


Figura 5.2 - Cenário de demandas de 2015 sem qualquer tratamento de efluentes dos setores indústria e saneamento.

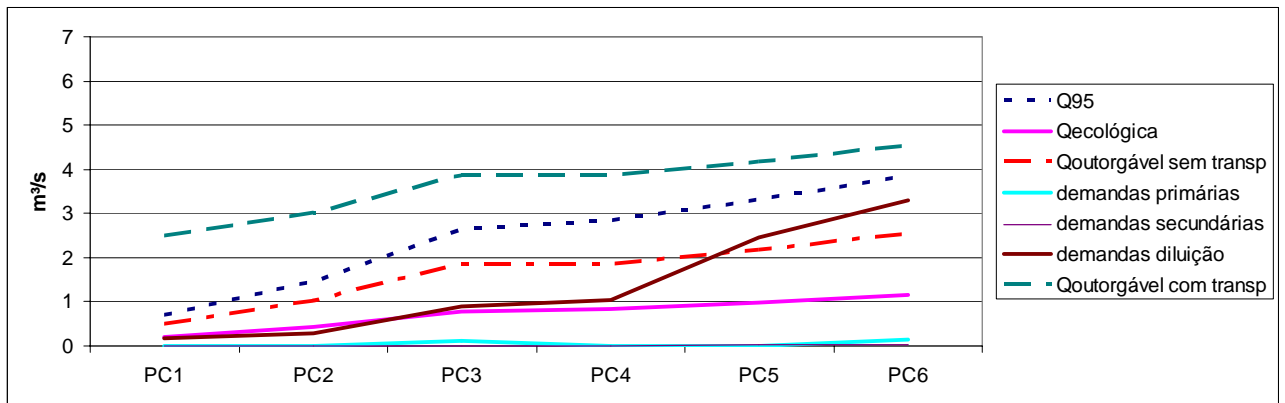


Figura 5.3 - Cenário de demandas atual com nível de tratamento de 80% para o setor saneamento e nível de tratamento industrial igual ao nível atual, acrescido de 80% de abatimento da DBO remanescente.

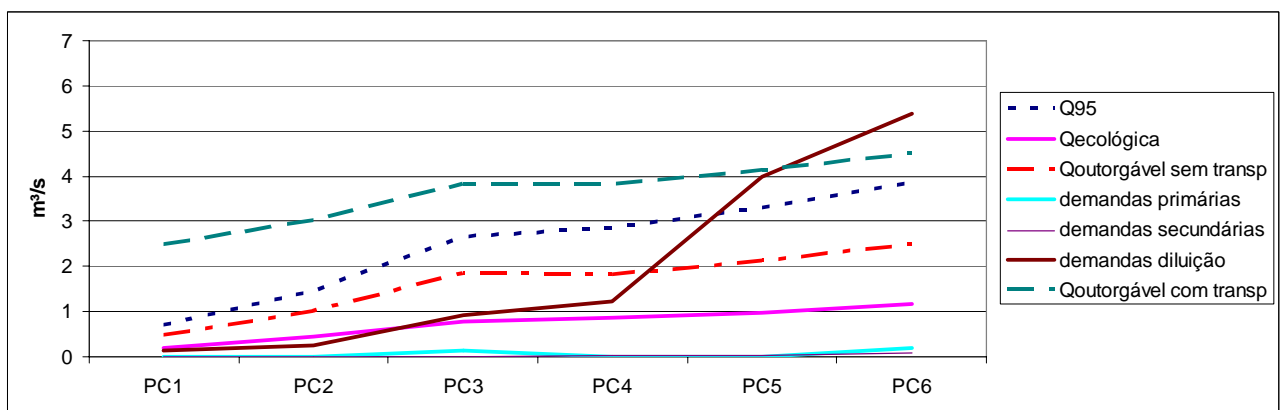


Figura 5.4 - Cenário de demandas de 2015 com nível de tratamento de 80% para o setor saneamento e nível de tratamento industrial igual ao nível atual, acrescido de 80% de abatimento da DBO remanescente.

Nos cenários apresentados acima o não atendimento às demandas terciárias significa que não há vazão de diluição suficiente para que a concentração de DBO máxima permitida pelo enquadramento para cada Ponto de Controle seja respeitada.

A análise do atendimento às demandas terciárias não foi realizada para a concentração de OD em cada PC para todos os cenários estudados. Mas, verificando-se o perfil de OD ao longo do rio Paranhana para os cenários de demandas atual sem quaisquer tratamentos de efluentes e com o nível atual de tratamento de efluentes na bacia, verifica-se que, apenas a partir do PC5, a concentração mínima de OD permitida pelo enquadramento para estes PC's (5 mg OD/L, para a classe 2) também não é atendida. Assim, conforme a resolução CONAMA n.º 357/2005 pode-se dizer que, para o PC4, as demandas terciárias estão sendo atendidas, uma vez que, apesar da concentração máxima de DBO permitida não estar atendendo à classe, a concentração mínima de OD está sendo respeitada para a classe em que o rio está enquadrado.

A Figura 5.5 apresenta o perfil de OD para os cenários citados (coeficiente de reaeração $k_2 = 0,8$ – rios rápidos - conforme Von Sperling, 1996).

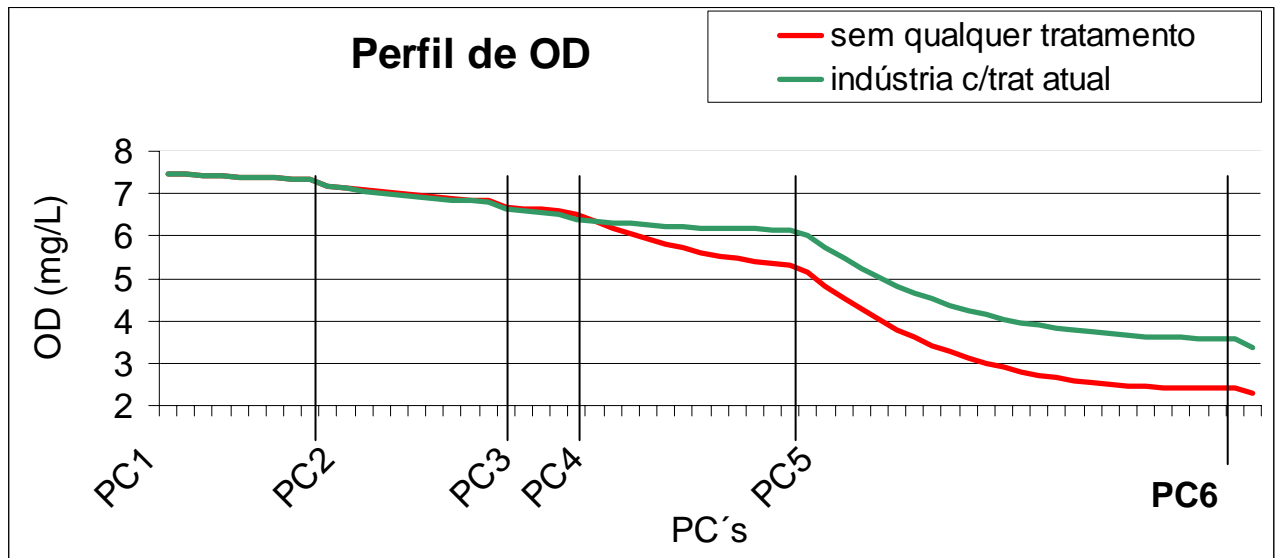


Figura 5.5 – Perfis de OD para os cenários de demandas atual sem quaisquer tratamentos e com nível atual de tratamento na bacia.

Este critério de outorga apresenta como resultados um atendimento, nos cenários atual e futuro, às demandas primárias e secundárias (ambas consuntivas). As demandas terciárias (vazões de diluição), não são atendidas, nos PCs 5 e 6, em nenhum cenário proposto, quer com demandas atuais ou futuras, considerando ou não a transposição de $2\text{m}^3/\text{s}$, em nenhum cenário proposto de níveis de tratamento de esgotos, de até 80% de abatimento de DBO para esgotos domésticos e de abatimento de 80% da DBO remanescente do tratamento atual dos efluentes industriais.

Este critério limita sobremaneira a utilização dos recursos hídricos da bacia, pois na maior parte do tempo, (em 95% do tempo) estarão ocorrendo no rio vazões iguais ou maiores que a vazão de referência Q_{95} . Além disso, ao se fixar uma garantia em 95% do tempo no atendimento às demandas de quaisquer prioridades, em especial às vazões de diluição, pode-se onerar em demasia a bacia como um todo, pois esta alta garantia de atendimento acarreta a necessidade de altos índices de abatimento de poluentes. Neste sentido, o próximo critério de outorga estudado, baseado na vazão de referência Q_{95} mensal, procura aumentar a vazão outorgável nos meses de maior disponibilidade hídrica.

5.2 Critério da vazão de referência considerando como vazão outorgável 70% da Q₉₅ mensal

Neste critério, a vazão máxima outorgável em cada Ponto de Controle é, no máximo, 70% da Q₉₅ mensal. As demandas foram priorizadas da mesma forma que o critério anterior.

Ocorreram ganhos no atendimento às demandas utilizando-se o critério da vazão de referência mensal em alguns cenários estudados, em alguns Pontos de Controle. Para o cenário de demandas atual, considerando a ausência de tratamento doméstico e um nível de tratamento dos efluentes industriais de 80%, por exemplo, o critério da vazão de referência mostra que as demandas terciárias do PC4 não são atendidas, conforme já apresentado na Tabela 5.1. Quando se considera o critério da vazão de referência mensal, as demandas terciárias do PC4 passam a ser atendidas em 8 meses do ano (janeiro, fevereiro, março, junho, julho, setembro, outubro e dezembro). Assim, uma indústria com capacidade de reduzir seus lançamentos de efluentes por até 2 meses consecutivos poderia ser autorizada a lançar seus efluentes parcialmente tratados no rio durante 8 meses do ano.

No entanto, o regime hidrológico da bacia, com sazonalização pouco acentuada, permitiu um ganho pequeno deste critério, em relação ao critério da vazão de referência anual. Neste sentido, a Figura 5.6 mostra a comparação das vazões de referência Q₉₅ mensais da bacia do rio Paranhana com algumas bacias do país. Nota-se que nas outras regiões a sazonalidade é mais acentuada, justificando, nestes casos, a adoção de um critério de vazão de referência mensal.

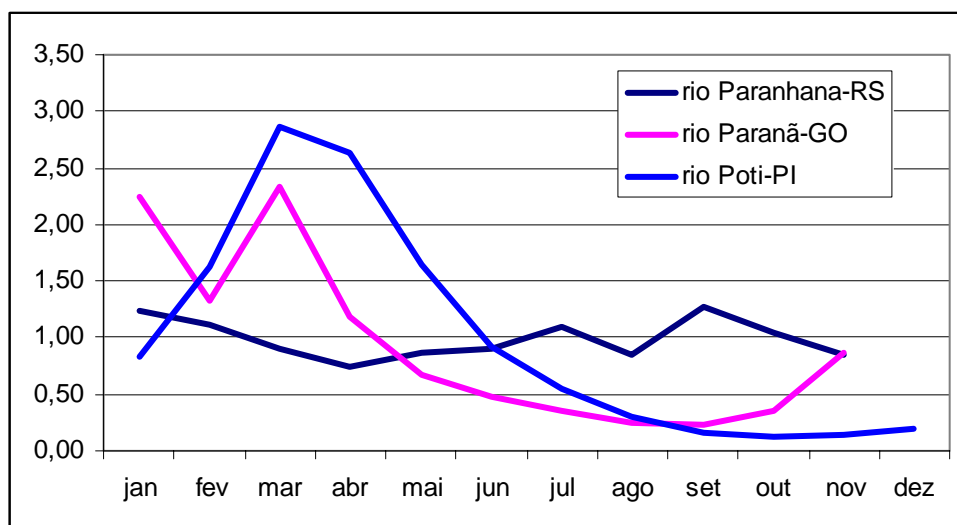


Figura 5.6 – vazões de referência Q₉₅ mensais adimensionalizadas pela Q₉₅ anual.

Aparentemente o critério de vazão de referência sazonal (mensal, por exemplo) tem maior efetividade caso os usos pudessem ser organizados no tempo. Em uma bacia com usos predominantemente agrícolas, por exemplo, poderiam ser escalonados os calendários de irrigação das diversas culturas de modo a se adequar às demandas às disponibilidades hídricas mensais.

O critério da vazão de referência sazonal pode dificultar o trabalho de fiscalização do órgão gestor em relação ao cumprimento das outorgas, uma vez que cada usuário poderá ser racionado nas suas demandas em alguns meses do ano, ou ter de aumentar seus níveis de tratamento de efluentes em algumas épocas. Por outro lado, este critério sinaliza melhor à autoridade outorgante os meses em que há maior ou menor possibilidade de atendimento aos usos, em relação ao critério da vazão de referência única ao longo do ano.

5.3 Critério baseado na garantia de suprimento associada à priorização de demandas

O critério da garantia de suprimento permite um maior uso das disponibilidades da bacia, uma vez que os usos recebem garantias diferentes de atendimento, de acordo com as prioridades atribuídas a eles. Neste critério, as prioridades adotadas foram as seguintes:

- 1 Demandas primárias: abastecimento urbano, rural e dessedentação de animais;
- 2 Demandas secundárias: captação para indústrias e irrigação;
- 3 Demandas terciárias: vazões de diluição para efluentes domésticos urbanos, rurais e industriais.

Para se chegar à vazão outorgável para cada prioridade, atribui-se a elas uma garantia de atendimento. Assim, para as demandas primárias atribuiu-se uma garantia de atendimento de 99%, para as demandas secundárias uma garantia de 95% e para as demandas terciárias uma garantia de 90%. Foi reservado o valor constante de 30% da Q95 para a vazão ecológica.

A simulação foi realizada a partir da série histórica de vazões gerada para cada Ponto de Controle, com auxílio do programa PROPAGAR.

As Tabelas 5.3 e 5.4 apresentam os resultados do critério da garantia de suprimento para os cenários de demandas atual e 2015.

Tabela 5.3 –Critério da garantia de suprimento no cenário de demandas atual, com transposição 2m³/s.

Ponto de Controle	Atendimento às demandas				
	Primárias	Secundárias	Terciárias ¹	Terciárias ²	Terciárias ³
PC1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC3	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC4	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC5	Sim	Sim	Não	Não	Sim
PC6	Sim	Sim	Não	Não	Não

¹ cenário sem qualquer tratamento de efluentes;

² cenário sem tratamento de esgotos domésticos e indústrias com tratamento atual %.

³ cenário com tratamento de esgotos domésticos de 80% e indústrias com tratamento de 80% da DBO remanescente do tratamento atual.

Tabela 5.4 – Critério da garantia de suprimento no cenário de demandas de 2015, com transposição 2m³/s.

Ponto de Controle	Atendimento às demandas				
	Primárias	Secundárias	Terciárias ¹	Terciárias ²	Terciárias ³
PC1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC3	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PC4	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
PC5	Sim	Sim	Não	Não	Não
PC6	Sim	Sim	Não	Não	Não

¹ cenário sem qualquer tratamento de efluentes;

² cenário sem tratamento de esgotos domésticos e indústrias com tratamento atual;

³ cenário com tratamento de esgotos domésticos de 80% e indústrias com tratamento de 80% da DBO remanescente do tratamento atual.

Analisando-se os resultados do critério da garantia de suprimento, verifica-se um maior atendimento às demandas em relação ao critério da vazão de referência anual e mensal, especialmente quanto às demandas terciárias. No cenário de demandas atual, por exemplo, passa a haver o atendimento dos PC's 1 a 4, com qualquer nível de tratamento. Em realidade, o critério da garantia de suprimento pode ser entendido como um critério de vazão de referência no qual cada prioridade de uso possui sua vazão outorgável relacionada a uma garantia de atendimento. Assim, nesta simulação, as vazões de referência para cada prioridade de uso seriam Q₉₉ para as demandas primárias, Q₉₅ para as demandas secundárias e Q₉₀ para as demandas terciárias. Isto parece lógico quando se sabe que as demandas primárias devem ter maior garantia de atendimento em relação às outras demandas.

Uma crítica que deve ser feita à aplicação do critério da garantia de suprimento neste trabalho diz respeito à garantia de 90% aplicada às demandas terciárias. Isto quer dizer que em 10% do tempo não haverá disponibilidade hídrica no rio para atender às vazões de diluição necessárias

para manter nas suas classes de enquadramento. É importante lembrar que no rio Paranhana existem captações para abastecimento público, sendo que uma das captações ocorre justamente no PC6, que é um dos Pontos de Controle problemáticos em relação ao atendimento às vazões de diluição. Uma alternativa seria aumentar a garantia destas demandas, o que acarretaria num aumento dos abatimentos de DBO necessários para que estas demandas sejam atendidas.

5.4 Critério da vazão excedente associada à priorização de demandas

No critério da vazão excedente, todos os usuários teoricamente podem ser outorgados, mas para os usos menos prioritários esta outorga poderá ter baixa garantia, o que na prática exclui alguns usuários da bacia. Neste trabalho, o critério foi aplicado simulando-se o atendimento às demandas da bacia a partir da série histórica de vazões gerada para cada Ponto de Controle, com auxílio do programa PROPAGAR.

As prioridades no atendimento às demandas seguem a seguinte ordem:

- 1 Demandas primárias: vazão ecológicas (mantida constante em 30% da Q_{95}), abastecimento urbano, rural e dessedentação de animais;
- 2 Demandas secundárias: captação para indústrias e irrigação;
- 3 Demandas terciárias: vazões de diluição para efluentes domésticos urbanos, rurais e industriais.

Neste critério de outorga, são atendidas as demandas primárias, na seqüência as demandas secundárias e por último as demandas terciárias. Assim, só ocorrem falhas no atendimento a uma demanda se as demandas de prioridade inferior já não são atendidas.

As falhas no atendimento às demandas estão apresentadas nas Tabela 5.5 e 5.6.

Tabela 5.5 –Critério da vazão excedente para as demandas atuais, com transposição de 2m³/s, com Qecológica igual a 30% da Q₉₅.

Ponto de Controle	Falhas no atendimento às demandas (% do tempo)				
	Primárias	Secundárias	Terciárias ¹	Terciárias ²	Terciárias ³
PC1	0%	0%	0%	0%	0%
PC2	0%	0%	0%	0%	0%
PC3	0%	0%	0%	0%	0%
PC4	0%	0%	0,1%	0%	0%
PC5	0%	0%	43,3%	25,4%	16,4%
PC6	0%	0%	79,9%	35,2%	25,0%

¹ cenário sem qualquer tratamento de efluentes;

² cenário sem tratamento de esgotos domésticos e indústrias com nível de tratamento atual;

³ cenário com nível de tratamento de esgotos domésticos de 80% e indústrias com tratamento de 80% da DBO remanescente do tratamento atual.

Tabela 5.6 –Critério da vazão excedente para as demandas de 2015, com transposição de 2m³/s, com Qecológica igual a 30% da Q₉₅.

Ponto de Controle	Falhas no atendimento às demandas (% do tempo)				
	Primárias	Secundárias	Terciárias ¹	Terciárias ²	Terciárias ³
PC1	0%	0%	0%	0%	0%
PC2	0%	0%	0%	0%	0%
PC3	0%	0%	0%	0%	0%
PC4	0%	0%	27,9%	0%	0%
PC5	0%	0%	73,7%	45,8%	37,4%
PC6	0%	0%	98,2%	58,2%	44,7%

¹ cenário sem qualquer tratamento de efluentes;

² cenário sem tratamento de esgotos domésticos e indústrias com nível de tratamento atual;

³ cenário com nível de tratamento de esgotos domésticos de 80% e indústrias com tratamento de 80% da DBO remanescente do tratamento atual.

Fazendo-se as mesmas simulações, mas considerando a vazão ecológica como sendo 30% da Q₉₅ mensal, resultam nos resultados das Tabelas 5.7 e 5.8.

Tabela 5.7 – Resultados do critério da vazão excedente para as demandas atuais, com transposição de 2m³/s, com Qecológica variando mensalmente.

Ponto de Controle	Falhas no atendimento às demandas (% do tempo)				
	Primárias	Secundárias	Terciárias ¹	Terciárias ²	Terciárias ³
PC1	0%	0%	0%	0%	0%
PC2	0%	0%	0%	0%	0%
PC3	0%	0%	0%	0%	0%
PC4	0%	0%	11,3%	0%	0%
PC5	0%	0%	44,7%	16,2%	0%
PC6	0%	0%	81,0%	26,5%	0,1%

¹ cenário sem qualquer tratamento de efluentes;

² cenário sem tratamento de esgotos domésticos e indústrias com tratamento de 80%

³ cenário com tratamento de esgotos domésticos e industriais de 80%.

Tabela 5.8 – Resultados do critério da vazão excedente para as demandas de 2015, com transposição de $2\text{m}^3/\text{s}$, com Qecológica variando mensalmente.

Ponto de Controle	Falhas no atendimento às demandas (% do tempo)				
	Primárias*	Secundárias*	Terciárias ¹	Terciárias ²	Terciárias ³
PC1	0%	0%	0%	0%	0%
PC2	0%	0%	0%	0%	0%
PC3	0%	0%	0%	0%	0%
PC4	0%	0%	29,0%	0%	0%
PC5	0%	0%	74,3%	34,5%	27,2%
PC6	0%	0%	98,2%	46,9%	31,4%

¹ cenário sem qualquer tratamento de efluentes;

² cenário sem tratamento de esgotos domésticos e indústrias com tratamento de 80%

³ cenário com tratamento de esgotos domésticos e industriais de 80%.

* Correspondem às falhas nas demandas primárias e secundárias, para os três cenários de demandas terciárias.

Analisando-se os resultados do critério da vazão excedente constantes das Tabelas 5.5 a 5.8, verifica-se, por exemplo, que para o cenário de vazão ecológica variando mensalmente, com demandas para o ano de 2015, com nível de tratamento de efluentes industriais de 80% da DBO remanescente do tratamento atual e nível de tratamento de esgotos domésticos de 80%, todas as demandas poderiam ser atendidas, caso fosse admitido um percentual de falha no atendimento às demandas terciárias (de lançamento) de 27,2% no PC5 e 31,4% no PC6. A admissão deste percentual de falhas poderia se traduzir em necessidade, por parte dos usuários, de suspender os lançamentos em parte do tempo, o que pode não ser possível para o setor de saneamento, por exemplo; ou, de outro modo, se admitir que a classe em que rio está enquadrado não seja atendida neste mesmo percentual de tempo.

O critério da vazão excedente, ao mesmo tempo em que disponibiliza maiores volumes outorgáveis, demanda do órgão gestor um controle muito mais efetivo no cumprimento das outorgas, uma vez que cada usuário tem garantias diferentes, mesmo em relação a outros usuários do mesmo setor usuário, mas que estejam em Pontos de Controle diferentes.

Neste critério também se verificou que a consideração da vazão ecológica com valores diferentes para cada mês do ano, iguais a 30% da Q_{05} mensal, efetivamente aumenta o atendimento às demandas em relação ao cenário que considera uma vazão ecológica constante ao longo do ano, conforme demonstram as Tabelas 5.5 a 5.8.

5.5 Nível atual de tratamento na bacia

O critério que melhor sinaliza ao órgão gestor os pontos de falhas no atendimento às demandas e as ações necessárias parece ser o critério da garantia de suprimento. Assim, foi simulado pelo critério da garantia de suprimento o cenário de demandas atual com o nível atual de tratamento de esgotos na bacia, em termos de abatimento de DBO. A Tabela 5.9 apresenta os níveis atuais de tratamento da indústria, retirados do cadastro de indústrias da FEPAM. Os níveis atuais de tratamento da indústria foram calculados ponderando-se os níveis de tratamento das indústrias que lançam em cada PC pela sua vazão de lançamento. Atualmente, não há tratamento de esgotos de lançamentos domésticos urbanos na bacia do rio Paranhana, com exceção do uso de fossas sépticas e sumidouros nas próprias unidades residenciais.

Tabela 5.9 – Níveis atuais de tratamento da indústria

Ponto de Controle	Nível atual de abatimento de DBO (%)	Ponto de Controle	Nível atual de abatimento de DBO (%)
PC1	0	PC4	76,3
PC2	0	PC5	43,6
PC3	52,8	PC6	86,4

Simulando-se o cenário de demandas atual com o nível atual de tratamento da indústria e dos lançamentos domésticos urbanos, obtiveram-se os resultados constantes da Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Critério da garantia de suprimento no cenário atual, com transposição 2m³/s e nível de tratamento atual da indústria e dos lançamentos domésticos.

Ponto de Controle	Atendimento às demandas		
	Primárias	Secundárias	Terciárias
PC1	Sim	Sim	Sim
PC2	Sim	Sim	Sim
PC3	Sim	Sim	Sim
PC4	Sim	Sim	Sim
PC5	Sim	Sim	Não
PC6	Sim	Sim	Não

Pela Tabela 5.10, conclui-se que os níveis atuais de tratamento na bacia não atendem ao enquadramento proposto para o rio, nos PC's 5 e 6, utilizando-se o critério da garantia de suprimento.

5.6 Padrões de lançamento exigidos na bacia

Aplicando-se os padrões de lançamento previstos pela Portaria SSMA nº. 05/1989, já apresentados no item 2.7, no cadastro de indústrias disponível para a bacia, encontram-se os níveis de tratamento exigidos para a indústria em cada Ponto de Controle segundo a Tabela 5.11. Os níveis de tratamento para a indústria em cada PC foram calculados ponderando-se os níveis de tratamento exigidos para as indústrias que lançam em cada PC pela sua vazão de lançamento. Na mesma Tabela, são apresentados os níveis mínimos de tratamento exigidos para os lançamentos domésticos, calculados segundo os padrões de lançamento exigidos pelo órgão ambiental.

Tabela 5.11 – Níveis de tratamento exigidos para cada Ponto de Controle, segundo padrões de lançamento estabelecidos pela FEPAM.

PC	% abatimento DBO - Indústria	% abatimento DBO saneamento	PC	% abatimento DBO - Indústria	% abatimento DBO saneamento
PC1	-	-	PC4	90,5	80
PC2	-	60	PC5	95,1	80
PC3	61,5	80	PC6	84,8	86,7

Simulando-se o cenário de demandas atual com os níveis exigidos de tratamento para lançamentos de efluentes industriais e esgotos domésticos urbanos, obtêm-se os resultados da Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Critério da garantia de suprimento no cenário atual, com transposição 2m³/s e nível de tratamento exigido pela FEPAM para indústria e setor de saneamento.

Ponto de Controle	Atendimento às demandas		
	Primárias	Secundárias	Terciárias
PC1	Sim	Sim	Sim
PC2	Sim	Sim	Sim
PC3	Sim	Sim	Sim
PC4	Sim	Sim	Sim
PC5	Sim	Sim	Sim
PC6	Sim	Sim	Sim

Pela Tabela 5.12, conclui-se que os níveis exigidos para tratamento na bacia atenderiam ao enquadramento proposto para o rio, utilizando-se o critério da garantia de suprimento.

6. ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE GESTÃO PARA A BACIA DO RIO PARANHANA.

6.1 Níveis de tratamento de efluentes e proposta de otimização dos investimentos em tratamento de esgotos na bacia

Para a análise da alternativa de estimativa dos níveis de tratamento de efluentes necessários para atendimento às demandas, foi utilizado como base o critério da garantia de suprimento, que considera as demandas primárias atendidas quando sua garantia de atendimento é de 99%, as demandas secundárias com 95% de garantia e as terciárias com 90%. O item 5.3 apresentou os resultados do critério da garantia de suprimento, mostrando que as demandas primárias e secundárias são atendidas em todos os cenários de demandas, ao contrário das demandas terciárias (lançamentos de efluentes), que não são atendidas em todos os PC's no cenário com os níveis atuais de tratamento de efluentes na bacia, conforme apresentado no item 5.5. Assim, pode-se afirmar que, de acordo com as simulações realizadas baseadas no critério da garantia de suprimento, o enquadramento do rio Paranhana não é atendido nos níveis atuais de tratamento de efluentes da bacia.

Portanto, para se chegar a um nível de tratamento de esgotos para cada setor usuário, em cada PC, de forma que o enquadramento do rio Paranhana seja atendido ao menor custo possível para a bacia, utilizou-se a técnica de otimização baseada em programação linear. A idéia é utilizar a abordagem custo-efetividade, já descrita no item 2.10.2, comparando o nível atual de tratamento de efluentes da bacia, que não atende ao enquadramento, com um nível de tratamento de esgotos que atenda ao enquadramento e ainda o faça ao menor custo possível, para a bacia como um todo. O custo da proposta de otimização dos níveis de tratamento é então comparada com os custos de se tratar os efluentes da bacia para que se atendam aos padrões de lançamento exigidos pelo órgão ambiental. A seguir será apresentada a formulação genérica proposta, juntamente com os valores empregados para o estudo na bacia do rio Paranhana.

Um resumo da formulação é apresentado a seguir:

$$\text{Min } \sum Q_{\text{lan\c{c}uPCn}} \cdot \text{CREDQDILuPCn}$$

Sujeito a:

$$\text{CREDQDILuPCn} = \text{fun\c{c}\~{a}o} (\text{REDQDILuPCn});$$

$$\text{REDQDILuPCn,m} = \text{BP}_{n,m} * \text{REDQDILuPCm};$$

$$\sum_{\text{usu\~{a}rio}=1}^u \sum_{\text{PC}=1}^n (\text{REDQDILuPCn} + \text{REDQDILuPCn,m}) \geq \text{REDQDILPCn};$$

$$\text{REDQDILuPCn} < T * \text{QDILuPCn}.$$

A seguir, ser\~{a}o detalhadas a fun\c{c}\~{a}o-objetivo e as restri\c{c}\~{o}es.

A fun\c{c}\~{a}o-objetivo utilizada foi a seguinte:

$$\text{Min } \sum Q_{\text{lan\c{c}uPCn}} \cdot \text{CREDQDILuPCn}$$

Onde:

$Q_{\text{lan\c{c}uPCn}}$ \u00e9 a vaz\~{a}o, em m³/s, do efluente lan\c{c}ado pelo usu\~{a}rio u no PC n ,

CREDQDILuPCn \u00e9 o custo do tratamento, em US\$/m³, associado \u00e0 uma dada redu\c{c}\~{a}o da vaz\~{a}o de dilui\c{c}\~{a}o necess\~{a}ria para o lan\c{c}amento do usu\~{a}rio u no PC n .

A fun\c{c}\~{a}o-objetivo proposta procura minimizar os custos totais de tratamento de esgotos na bacia, independente da distribui\c{c}\~{a}o destes custos entre os usu\~{a}rios.

O equacionamento das restri\c{c}\~{o}es foi o seguinte:

Restri\c{c}\~{a}o a):

$$\text{a) } \text{CREDQDILuPCn} = \text{fun\c{c}\~{a}o} (\text{REDQDILuPCn})$$

Onde:

REDQDILuPCn \u00e9 a redu\c{c}\~{a}o, em m³/s, da vaz\~{a}o de dilui\c{c}\~{a}o necess\~{a}ria para o lan\c{c}amento do usu\~{a}rio u no PC n ;

Fun\c{c}\~{a}o \u00e9 a fun\c{c}\~{a}o que relaciona os custos de tratamento de esgotos CREDQDILuPCn (em US\$/m³ de esgoto tratado) em rela\c{c}\~{a}o \u00e0 redu\c{c}\~{a}o da vaz\~{a}o de dilui\c{c}\~{a}o, que por sua vez \u00e9 diretamente proporcional \u00e0 efici\~{e}ncia de abatimento.

Esta restri\c{c}\~{a}o contempla os custos de tratamento de cada setor usu\~{a}rio, em fun\c{c}\~{a}o do percentual (efici\~{e}ncia) de abatimento de DBO. Assim, esta restri\c{c}\~{a}o relaciona os custos de tratamento para cada setor usu\~{a}rio com a redu\c{c}\~{a}o da vaz\~{a}o de dilui\c{c}\~{a}o necess\~{a}ria para os lan\c{c}amentos destes mesmos usu\~{a}rios.

As curvas de custos de tratamento para esgotos domésticos, em função da eficiência, foram obtidas de Somlyódy e Shanaham (*apud* Santos, 2002). Para o tratamento de efluentes industriais, na falta de estudos consistentes para os custos de tratamento de efluentes industriais genéricos para remoção de DBO, foi consultado o estudo realizado por Jansen (*apud* Santos, 2002), que analisa os custos de abatimento de DQO a partir de dados de indústrias de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Estes custos foram assumidos, para os fins deste trabalho, como iguais aos custos de remoção de DBO pela indústria. As curvas de custo obtidas dos estudos citados estão apresentadas nas Tabelas 6.1 e 6.2.

Tabela 6.1 – Custos de tratamento de esgotos domésticos (adaptado de Santos, 2002).

Combinação de processos	Eficiência remoção DBO (%)	Custo (US\$/m ³)		
		Invest.	O&M	Total
Tratamento primário (P)	30	0,120	0,064	0,184
Trat. primário melhorado quimicamente	55	0,131	0,103	0,234
Precipitação primária (PC)	70	0,160	0,122	0,282
(P) + lodo ativado (B)	90	0,220	0,106	0,326
(PC) + (B)	95	0,230	0,165	0,395
(PC) + (B) + denitrificação	97	0,316	0,210	0,526

Tabela 6.2 – Custos de remoção de matéria orgânica de efluentes industriais (adaptado de Santos, 2002, considerando o custo de remoção de DQO igual ao de DBO).

Tecnologia	Eficiência remoção DBO (%)	Custo (US\$/kg DBO)	
		mínimo	Máximo
Tratamento anaeróbico químico	65	0,14	0,47
Lodos ativados	80	0,51	2,15
Filtro de carvão ativado	95	2,53	4,74

A unidade dos custos de tratamento de efluentes domésticos é US\$/m³. Já os custos de tratamento de efluentes industriais foi obtido em US\$/kg de DBO removida. Logo, para transformá-lo em US\$/m³ de efluente tratado, é necessário informar a concentração de DBO dos lançamentos industriais. Para tal, foi estimada a concentração média dos efluentes industriais em cada PC, função das diferentes categorias de indústrias que funcionam na bacia. As concentrações médias para cada PC foram obtidas a partir da ponderação das concentrações dos lançamentos da indústria pela sua vazão de lançamento, e estão resumidas na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Concentrações médias de DBO dos lançamentos brutos dos setores usuários em cada PC (mg/l).

PC	saneamento	indústria	PC	saneamento	indústria
PC1	0	0	PC4	300	2122
PC2	300	0	PC5	300	3453
PC3	300	121	PC6	300	3182

As curvas de custo de tratamento para lançamentos domésticos e efluentes industriais, em US\$/m³, estão apresentadas na Figura 6.1. Para a indústria, está apresentada apenas uma das curvas de custo gerada, uma vez que existe uma curva para cada concentração de DBO no efluente bruto. Para os esgotos domésticos, foi utilizado o coeficiente de atenuação de cargas brutas obtido por Magna (1996) e que foi apresentado no item 4.3.5.

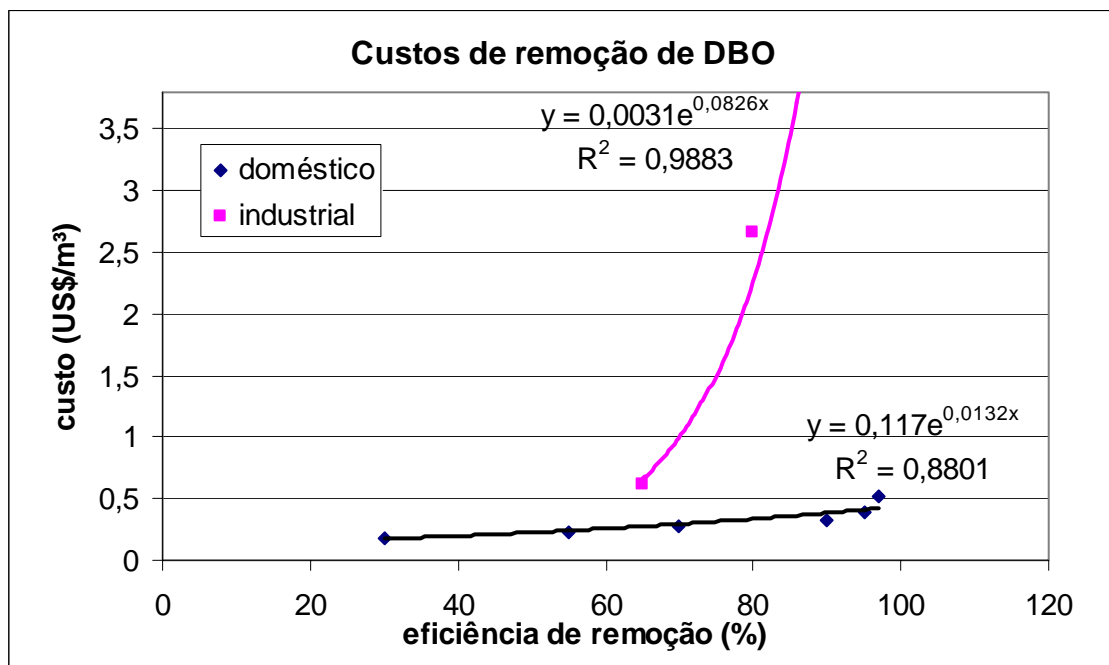


Figura 6.1 – Curvas de custos de abatimento de DBO para esgotos domésticos e efluentes industriais.

Conforme a Figura 6.1, as curvas de custos de tratamento de esgotos não são lineares. Assim, utilizou-se o artifício da linearização por segmentos (6 segmentos para cada curva de custo) para ser possível a utilização da técnica de programação linear para otimização dos níveis de tratamento de esgotos na bacia.

Restrição b):

$$b) REDQDILuPCn,m = BPn,m * REDQDILuPCm$$

Onde:

$REDQDILuPCn,m$ é a redução da vazão de diluição necessária para o lançamento do usuário u no PC de jusante n , devido ao lançamento num PC de montante m ;

$REDQDILuPCm$ é a redução da vazão de diluição necessária para o lançamento do usuário u no PC de montante m ;

BPn,m é o coeficiente de uso da vazão de diluição, que corrige a vazão de diluição necessária para diluir certo lançamento no PC de montante m , para o PC de jusante n . Este coeficiente é calculado a partir da consideração da autodepuração do parâmetro DBO no rio, a partir da metodologia já descrita no item 2.8 e aplicada no item 4.5.

Esta restrição “propaga” as vazões de diluição ao longo do rio, considerando sua capacidade de autodepuração. Lançamentos de esgotos de diferentes concentrações de DBO resultam em diferentes decaimentos de DBO ao longo do rio, conforme apresentado na Tabela 2.7 do item 2.7.3. Por simplificação, foi adotado um coeficiente de decaimento único para a equação de Streeter-Phelps, conforme item 4.5.

Restrição c):

$$c) \sum_{usuário=1}^u \sum_{PC=1}^n (REDQDILuPCn + REDQDILuPCn,m) \geq REDQDILPCn$$

Onde:

$REDQDILuPCn$ é a redução da vazão de diluição necessária para o lançamento do usuário u no PC n ;

$REDQDILuPCn,m$ é a redução da vazão de diluição necessária para o lançamento do usuário u no PC de jusante n , devido ao lançamento num PC de montante m ;

$REDQDILPCn$ é a redução mínima necessária da vazão de diluição no PC n para atender ao enquadramento.

Esta restrição faz com que sejam garantidas reduções mínimas nas vazões de diluição disponíveis em cada PC de modo que as classes de enquadramento do rio sejam atendidas.

A Tabela 6.4 apresenta as necessidades de redução da vazão de diluição ($REDQDILPCn$) para o parâmetro DBO necessárias para atendimento ao enquadramento, desconsiderando-se quaisquer tratamentos de efluentes industriais ou esgotos domésticos, e considerando-se a

depuração da DBO ao longo do rio Paranhana. Os lançamentos de esgotos domésticos rurais e devidos à poluição difusa rural foram desconsiderados, pois a vazão de diluição necessária para ambos os lançamentos correspondem a 9,2% das vazões de diluição necessárias para esgotos domésticos urbanos e efluentes industriais.

Tabela 6.4 – Q diluição necessária para os lançamentos brutos domésticos urbanos e efluentes industriais, e vazão de diluição disponível para o cenário de demandas atual e futuro (m³/s) – segundo o enquadramento.

	Cenário de demandas atual			Cenário de demandas de 2015		
	Q diluição necessária	Q diluição Disponível ¹	Q dil. a ser reduzida: <i>REDQDILPCn</i>	Q diluição necessária	Q diluição Disponível ¹	Q dil. a ser reduzida <i>REDQDILPCn</i>
PC1	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
PC2	0,10	0,10	-	0,13	0,13	-
PC3	1,47	1,47	-	2,24	2,24	-
PC4	6,63	6,20	0,43	12,05	6,10	5,95
PC5	19,34	7,20	12,14	36,62	7,10	29,52
PC6	48,02	8,00	40,02	91,56	7,70	83,86

¹desconsiderando-se a transposição de vazões.

Restrição d):

$$d) REDQDILuPCn < T * QDILuPCn$$

Onde:

REDQDILuPCn é a redução da vazão de diluição necessária para o lançamento do usuário *u* no PC *n*;

QDILuPCn é a vazão de diluição necessária para o lançamento do usuário *u* no PC *n* para atender ao enquadramento;

T é o mais alto nível de abatimento de DBO obtido pela tecnologia atual para o usuário *u*.

Esta restrição limita a redução da vazão de diluição, advinda do tratamento de esgotos, à própria vazão de diluição decorrente do lançamento do usuário. Neste trabalho, *T* foi adotado como 95% para o abatimento de DBO dos setores saneamento e indústria.

Após a realização da otimização, utilizando o programa LINDO (versão *freeware* da *Lindo Systems Inc.*), as variáveis *REDQDILuPCn*, que representam as reduções da vazão de diluição ótimas encontradas, resultaram nos valores da Tabela 6.5. Pela razão entre *REDQDILuPCn* e as vazões de diluição necessárias para cada lançamento *u* em cada PC *n* (*QDILuPCn*), chega-se aos níveis de tratamento ótimos para cada usuário em cada PC.

O equacionamento completo da otimização implementado no LINDO é apresentado no Anexo 2.

Tabela 6.5 – Reduções na vazão de diluição necessária para cada setor usuário em cada PC, REDQDILuPCn, obtidas dos níveis ótimos de tratamento encontrados (m³/s)

PC	saneamento	% ¹	indústria	% ¹	PC	saneamento	% ¹	indústria	% ¹
PC1	0	0	0	0	PC4	0,84	95	4,12	95
PC2	0,17	83	0	0	PC5	1,24	95	10,05	82
PC3	1,16	95	0,14	95	PC6	4,09	95	23,51	80

¹ Nível ótimo de abatimento de DBO para cada setor usuário em cada PC

A razoabilidade da proposta de otimização das obras de tratamento de efluentes na bacia é comprovada quando se compara seus custos com os custos gerados pelos níveis atuais de tratamento de esgotos na bacia e pelos níveis que teriam de ser obtidos na bacia, com base nos padrões de lançamento exigidos pela FEPAM, conforme item 2.7. A Tabela 6.6 apresenta tal comparação.

Tabela 6.6 – Níveis de tratamento atuais, níveis de tratamento exigidos na bacia e obtidos pela simulação proposta e seus respectivos custos totais.

PC	Nível de tratamento atual (%) ¹		Custos atuais US\$/ano	Nível de tratamento exigido (%) ²		Custos exigidos (US\$/ano)	Nível de tratamento proposto (%)		Custos propostos (US\$/ano)
	urbano	indústria		urbano	indústria		urbano	indústria	
PC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC2	0	0	0	60	0	32.585	83	0	43.940
PC3	0	52,8	2.476	80	61,5	482.401	95	95	662.520
PC4	0	76,3	465.730	80	90,5	1.807.998	95	95	2.596.706
PC5	0	43,6	87.487	80	95,1	6.544.560	95	82	2.632.115
PC6	0	86,4	7.187.685	86,7	84,8	8.129.065	95	80	6.279.584
Custo total para a bacia:			7.743.378	-		16.996.609	-		12.214.864

¹ Obtido do cadastro de licenciamentos da FEPAM (disponível em www.fepam.rs.gov.br). Foram utilizados os níveis de tratamento informados pelas indústrias que se enquadram no SISAUTO – Sistema de Automonitoramento de Efluentes Líquidos Industriais. Para as demais indústrias, foi desconsiderado seu atual nível de tratamento, por falta de informações.

² De acordo com a Portaria SSMA n°. 05/1989.

A Figura 6.2 apresenta, de forma gráfica, os níveis de tratamento atuais, exigidos pela Portaria SSMA n°. 05/1989 e propostos para os setores saneamento e indústria, nos PCs 2 a 6.

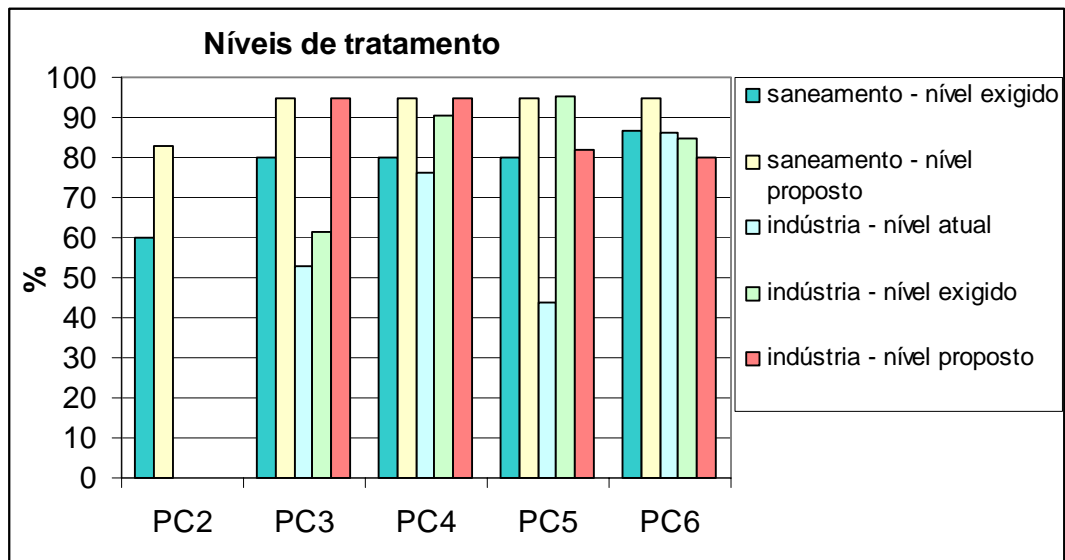


Figura 6.2 – Níveis de tratamento atuais, exigidos e propostos.

A Tabela 6.7 apresenta os custos dos níveis de tratamento atual, exigido pelo órgão ambiental e proposto neste trabalho para os dois agentes poluidores (lançamentos domésticos urbanos e indústrias).

Tabela 6.7 – Custos correspondentes aos níveis de tratamento atuais, níveis de tratamento exigidos na bacia e obtidos pela simulação proposta para o enquadramento (US\$/ano).

PC	tratamento atual		tratamento exigido		tratamento proposto	
	urbano	indústria	urbano	indústria	urbano	indústria
PC1	0	0	0	0	0	0
PC2	0	0	32.585	0	43.940	0
PC3	0	2.476	477.331	5.070	581.849	80.671
PC4	0	465.730	339.436	1.468.562	413.759	2.182.947
PC5	0	87.487	509.153	6.035.407	620.639	2.011.476
PC6	0	7.187.685	1.830.938	6.298.127	2.042.936	4.236.648

A Figura 6.3 apresenta, de forma gráfica, os custos correspondentes dos níveis de tratamento atual, exigido e proposto.

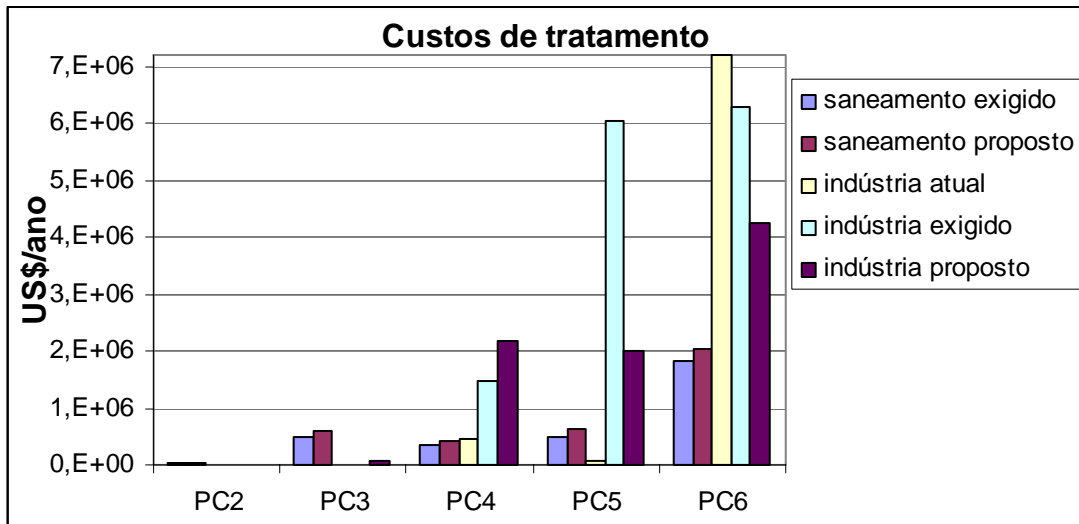


Figura 6.3 – Custos correspondentes aos níveis de tratamento atuais, exigidos e propostos (US\$/ano).

É importante frisar que, dos três níveis de tratamento apresentados acima, apenas o nível exigido pelo órgão ambiental e o nível proposto neste trabalho permitem que o rio seja mantido nas classes em que está enquadrado segundo enquadramento aprovado pelo COMITESINOS, no critério da garantia de suprimento, conforme foi apresentado nos itens 5.5 e 5.6. Dos níveis de tratamento apresentados, o nível proposto neste trabalho apresenta menor custo que o nível de tratamento exigido pelo órgão ambiental.

A pouca eficiência das ações atuais de saneamento na bacia fica ainda mais clara se for considerado que na condição atual o enquadramento do rio não é atendido (item 5.5). Pode-se explicar esta ineficiência comparando-se os níveis atuais de tratamento com os níveis propostos. No PC6, os níveis atuais de tratamento da indústria são altos (inclusive maiores que os tratamentos exigidos, talvez por questões de certificação de algumas indústrias), ao passo que nos PC's 1 a 5 os níveis de tratamento atuais estão muito baixos.

A vazão de diluição disponível estimada para os cenários acima foi baseada no critério da garantia de suprimento, que atribuiu às demandas terciárias (diluição de poluentes) uma garantia de 90%. Assim, mesmo com os níveis de tratamento preconizados, o rio não possuirá, em 10% do tempo, a qualidade prevista pela classe em que está enquadrado. Além disso, o estudo foi apresentado para o cenário de demandas atual, sendo um indicador dos níveis de tratamento que já deveriam estar sendo adotados atualmente na bacia.

Os valores resultantes da otimização e apresentados na Tabela 6.6 são decorrentes de uma otimização contínua. Para que estes níveis de tratamento sejam implementados na prática, eles

devem ser adequados aos sistemas de tratamento existentes, que em geral apresentam níveis discretos – “degraus” - para o tratamento de efluentes, segundo os diferentes processos de tratamento que podem ser implementados em uma ETE.

Além disso, neste estudo são contemplados níveis de tratamento para cada setor usuário em cada PC da bacia. Na prática, a proposta aqui apresentada deveria ser aplicada considerando o lançamento de cada empreendimento de forma individual. Outra consideração que deve ser realizada numa aplicação real da metodologia proposta é quanto aos custos de coleta e transporte dos efluentes, especialmente os domésticos, até as Estações de Tratamento de Esgotos, que devem ser considerados na otimização.

Uma outra questão que se coloca é quando alguns usuários da bacia já praticam níveis de tratamento superiores aos propostos. No exemplo da bacia do rio Paranhana, isto ocorre com os usuários do setor industrial localizados no PC6 da bacia. Nestes casos, naturalmente, os níveis atuais de tratamento destes usuários devem, no mínimo, serem mantidos. Para tal, deve-se inserir uma nova restrição na otimização, fixando os níveis destes setores usuários iguais ou superiores aos níveis atuais, e realizar nova rodada de otimização, o que deverá alterar os níveis de tratamento a serem praticados pelos demais usuários.

6.2 Flexibilização temporária do enquadramento – Etapalização da Qualidade

O item 6.1 apresentou níveis de tratamento necessários para o atendimento ao enquadramento aprovado pelo Comitê da bacia do rio dos Sinos. Pela Tabela 6.6 nota-se que alguns usuários, especialmente o setor de saneamento, deveriam passar a tratar seus esgotos num percentual de abatimento elevado. Sabe-se que o tempo para implementação destas obras não é imediato, por questões econômicas, técnicas e político-institucionais.

Assim, uma alternativa de gestão para a bacia seria a flexibilização temporária do enquadramento, também chamada de *etapalização* da qualidade (Von Sperling, 1996b). Segundo o mesmo autor, a *etapalização* da implantação das unidades de uma estação de tratamento de esgotos (ETE) é importante porque:

- A divisão em etapas é um fator economicamente positivo, por transladar para o futuro uma considerável parte dos investimentos, reduzindo o valor presente dos custos de implantação;

- A cada nova etapa de implantação podem ser revistos os parâmetros de projeto, principalmente as vazões e cargas afluentes, bem como os dados obtidos com a experiência operacional da estação;
- Unidades superdimensionadas podem gerar problemas, como septicidade nos decantadores, excesso de aeração, etc.;
- A etapalização permite o contínuo acompanhamento da evolução da tecnologia permitindo que seja adotada sempre a solução mais moderna, que pode em muitos casos ser mais eficiente e econômica;
- O projeto da estação deve prever, portanto, flexibilidade para a integração das unidades existentes ou de primeira etapa com as unidades futuras.

Sob o ponto de vista legal, a *etapalização* da qualidade foi contemplada na nova Resolução CONAMA nº. 357/2005, que dispõe: “*Considerando que o enquadramento expressa metas finais a serem alcançadas, podendo ser fixadas metas progressivas intermediárias, obrigatórias, visando a sua efetivação (...)*”.

Sob o ponto de vista econômico da bacia, a flexibilização temporária do enquadramento desonera os usuários de um investimento inicial muito alto, que pode desestimular a adoção de qualquer medida de tratamento de esgotos, o que é muito pior do que um tratamento em níveis iniciais baixos que gradualmente é aumentado. Assim, foi adotado um novo enquadramento do rio, que pode ser adotado por um período de 5 ou 10 anos, por exemplo, sendo depois substituído pelo enquadramento aprovado pelo Comitê. Este enquadramento temporário proposto é apresentado na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 – Proposta de enquadramento temporário do rio Paranhana e concentrações de DBO correspondentes.

Ponto de Controle	Classe	Conc. Permitida (mg DBO/L)	Ponto de Controle	Classe	Conc. Permitida (mg DBO/L)
PC1	1	3	PC4	2	5
PC2	1	3	PC5	3	10
PC3	2	5	PC6	3	10

A alteração em relação ao enquadramento aprovado está nos PC's 5 e 6, que agora estão em classe 3. Com este novo enquadramento, as vazões de diluição necessárias e disponíveis estão apresentadas na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 – Q diluição necessária para os lançamentos brutos domésticos urbanos e efluentes industriais, e vazão de diluição disponível para o cenário de demandas atual e futuro (m³/s), segundo a nova proposta de enquadramento.

	Cenário de demandas atual			Cenário de demandas de 2015		
	Q diluição necessária	Q diluição Disponível ¹	Q dil a ser reduzida	Q diluição necessária	Q diluição Disponível ¹	Q dil a ser reduzida
PC1	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
PC2	0,04	0,04	-	0,06	0,06	-
PC3	0,62	0,62	-	0,95	0,95	-
PC4	2,89	2,89	-	5,28	5,28	-
PC5	8,52	7,20	1,32	16,16	7,10	9,06
PC6	21,18	8,00	13,18	40,44	7,70	32,74

¹ Desconsiderando-se a transposição de vazões.

Utilizando-se a mesma abordagem adotada no item 6.1, chegou-se a uma configuração de níveis de tratamento para os setores usuários indústria e esgotamento doméstico urbano que induz a um menor custo para a bacia. A Tabela 6.10 apresenta um resumo dos menores custos de tratamento obtidos para atendimento da proposta de enquadramento temporário. O equacionamento completo da otimização implementado no LINDO é apresentado no Anexo 2.

Tabela 6.10 – Níveis de tratamento atuais, níveis de tratamento exigidos na bacia e obtidos pela simulação proposta para a flexibilização do enquadramento e seus respectivos custos.

PC	Nível de tratamento atual (%)		Custos atuais US\$/ano	Nível de tratamento exigido (%)		Custos exigidos (US\$/ano)	Nível de tratamento proposto (%)		Custos propostos (US\$/ano)
	urbano	indústria		urbano	indústria		urbano	indústria	
PC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC2	0	0	0	60	0	32.585	95	0	51.720
PC3	0	52,8	2.476	80	61,5	482.401	95	95	662.520
PC4	0	76,3	465.730	80	90,5	1.807.998	95	60	534.958
PC5	0	43,6	87.487	80	95,1	6.544.560	95	60	960.094
PC6	0	86,4	7.187.685	86,7	84,8	8.129.065	80	44	1.901.574
Custo total para a bacia:			7.743.378	-		16.996.609	-		4.110.865

A Figura 6.4 apresenta, de forma gráfica, os níveis de tratamento atuais, exigidos pela Portaria SSMA nº. 05/1989 e propostos para os setores saneamento e indústria, nos PCs 2 a 6, considerando a proposta de enquadramento flexibilizada.

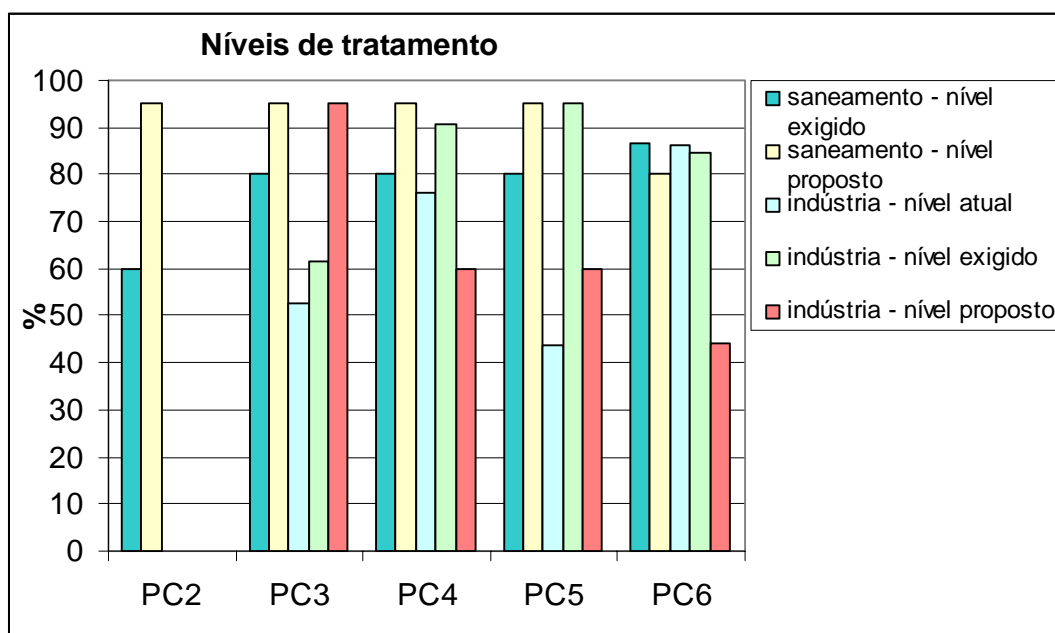


Figura 6.4 – Níveis de tratamento atuais, exigidos e propostos.

A Tabela 6.11 apresenta os custos dos níveis de tratamento atual, exigido pelo órgão ambiental e proposto neste trabalho para os dois agentes poluidores (lançamentos domésticos urbanos e indústrias).

Tabela 6.11 – Custos correspondentes aos níveis de tratamento atuais, níveis de tratamento exigidos na bacia e obtidos pela simulação proposta para o enquadramento flexibilizado (US\$/ano).

PC	tratamento atual		Tratamento exigido		tratamento proposto	
	urbano	indústria	urbano	indústria	urbano	indústria
PC1	0	0	0	0	0	0
PC2	0	0	32.585	0	51.720	0
PC3	0	2.476	477.331	5.070	581.849	80.671
PC4	0	465.730	339.436	1.468.562	413.759	121.199
PC5	0	87.487	509.153	6.035.407	620.639	339.455
PC6	0	7.187.685	1.830.938	6.298.127	1.675.963	225.610

A Figura 6.5 apresenta, de forma gráfica, os custos correspondentes dos níveis de tratamento atual, exigido e proposto, para a alternativa de enquadramento flexibilizado.

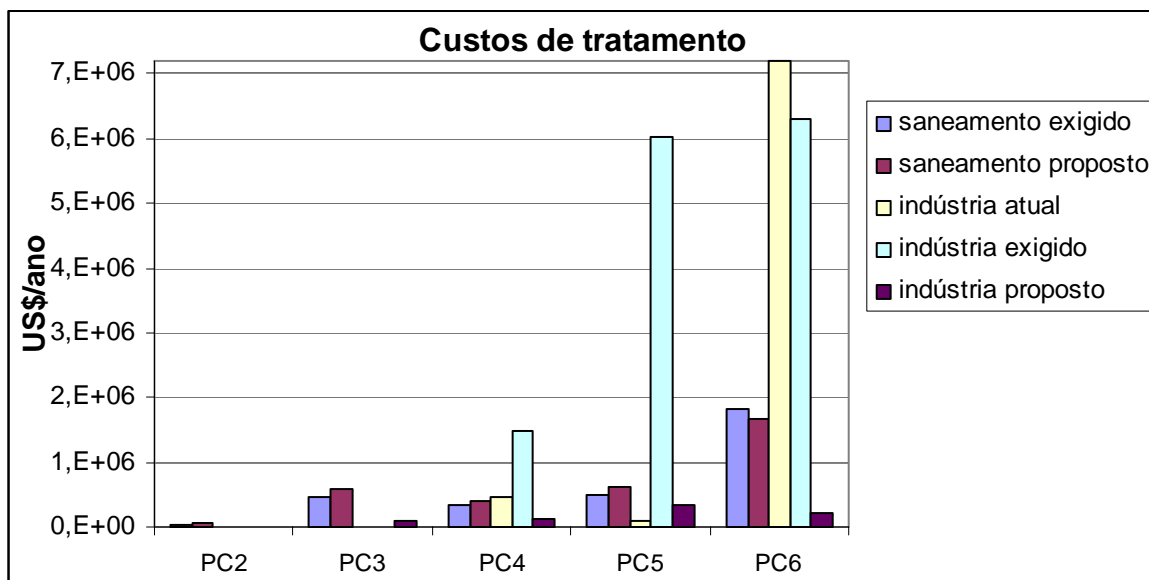


Figura 6.5 – Custos correspondentes aos níveis de tratamento atuais, exigidos e propostos para a alternativa de enquadramento flexibilizado (US\$/ano).

De acordo com os resultados já obtidos no item 6.1, os níveis de tratamento propostos apresentam um menor custo para a bacia como um todo, atendendo a um enquadramento temporário.

6.3 Compensação financeira entre os agentes poluidores da bacia

A otimização das intervenções em tratamento de esgotos na bacia apresentada nos itens 6.1 e 6.2 resultam em níveis de tratamento de esgotos por Ponto de Controle, os quais correspondem aos menores custos para a bacia como um todo, atendendo ao enquadramento proposto para o rio.

Contudo, a otimização proposta faz com que alguns setores usuários em alguns Pontos de Controle tenham de ter um nível de tratamento maior do que o exigido pelo órgão ambiental licenciador, que utiliza como parâmetro padrões de lançamento. Assim, não é de interesse destes usuários que seja realizada esta otimização das intervenções na bacia, ainda que ela resulte num custo menor para a bacia como um todo. Para resolver o problema, sugere-se um esquema de compensação financeira entre os usuários da bacia, de forma que a otimização das intervenções seja atrativa economicamente para todos.

O esquema de compensação financeira entre usuários proposto no presente trabalho partiu das seguintes premissas:

- O custo total para a bacia do tratamento otimizado deve ser menor que o custo total do tratamento exigido pelo órgão ambiental licenciador;
- Nenhum usuário pode pagar, no esquema de tratamento otimizado, mais do que ele pagaria segundo o exigido pelo órgão ambiental licenciador;
- A economia total obtida na bacia com o tratamento otimizado deve ser distribuída entre os usuários proporcionalmente aos seus custos correspondentes ao tratamento exigido pelo órgão ambiental licenciador.

O equacionamento utilizado foi o seguinte:

De início, é calculada a economia total na bacia obtida com a otimização:

$$Ei = \sum \text{Custoex}_{up} - \sum \text{Custoot}_{up}$$

Onde:

Ei é a economia inicial obtida na bacia,

Custoex_{up} é o custo do tratamento exigido pelo órgão ambiental, para o usuário up (usuários que tiveram seus custos reduzidos com a otimização),

Custoot_{up} é o custo resultante da otimização, para o usuário up .

Após, são calculadas as compensações iniciais aos usuários que tiveram seus custos aumentados com a otimização:

$$Ci_{ur} = \text{Custoot}_{ur} - \text{Custoex}_{ur}$$

Onde:

Ci_{ur} é a compensação inicial a ser paga a cada usuário ur (usuários que tiveram seus custos aumentados com a otimização), para que seus custos retornem ao valor do tratamento exigido pelo órgão ambiental,

Custoot_{ur} é o custo resultante da otimização, para o usuário ur ,

Custoex_{ur} é o custo do tratamento exigido pelo órgão ambiental, para o usuário ur .

A compensação inicial a ser paga para os usuários ur deve ser paga pelos usuários up , a saber:

$$Pi_{up} = [\sum Ci_{ur} (\text{Custoex}_{up} - \text{Custoot}_{up})] / Ei$$

Onde:

Pi_{up} é o pagamento de compensação inicial a ser efetuado por cada usuário up ,

$\sum Ci_{ur}$ é o somatório das compensações iniciais a serem pagas aos usuários ur .

Após a compensação inicial, ainda resta uma economia obtida pelos usuários up :

$$Er = Ei - \sum Ci_{ur}$$

Onde:

Er é a economia restante obtida pelo conjunto dos usuários up .

A economia restante dos usuários up calculada acima deve ser rateada entre os usuários proporcionalmente aos seus custos de tratamento exigidos pelo órgão ambiental. Assim, os usuários ur receberão uma compensação total conforme segue:

$$Cf_{ur} = Ci_{ur} + Er [Custoex_{ur} / (\Sigma Custoex_{ur} + \Sigma Custoex_{up})]$$

Onde:

Cf_{ur} é a compensação final que receberão os usuários ur ,

Os usuários up , por sua vez, pagarão uma compensação total de:

$$Pf_{up} = Pi_{up} + Er [Custoex_{up} / (\Sigma Custoex_{up} + \Sigma Custoex_{ur})]$$

Onde:

Pf_{up} é a compensação final a ser paga pelos usuários up ,

Das equações acima, resulta:

$$\Sigma Ci_{ur} = \Sigma Pi_{up}$$

e

$$\Sigma Cf_{ur} = \Sigma Pf_{up}$$

Os custos finais do tratamento otimizado para os usuários up resultam em:

$$Custofinal_{up} = Custoot_{up} + Pf_{up}$$

Onde:

$Custofinal_{up}$ é o custo final do tratamento otimizado para o usuário up , já considerando as compensações financeiras.

Da mesma forma, os custos finais do tratamento otimizado para os usuários ur resultam em:

$$Custofinal_{ur} = Custoot_{ur} - Cf_{ur}$$

Onde:

$Custofinal_{ur}$ é o custo final do tratamento otimizado para o usuário ur , já considerando as compensações financeiras.

As Tabelas 6.12 e 6.13 apresentam as compensações financeiras e os custos finais do tratamento otimizado (que são os custos da otimização acrescidos ou descontados da compensação) para o enquadramento aprovado pelo Comitê (item 6.1) e para o

enquadramento flexibilizado (item 6.2). Na prática, cada usuário teria de instalar, às suas expensas, sistemas de tratamento de efluentes com o percentual de abatimento obtido da otimização (Tabelas 6.6 e 6.10), e teria uma compensação a pagar ou a receber conforme as Tabelas 6.12 e 6.13.

Tabela 6.12 Resultados da compensação financeira e custos finais para o tratamento otimizado segundo o enquadramento aprovado (US\$/ano).

	urbano		industrial	
	compensação	custo final	compensação	custo final
PC1	0	0	0	0
PC2	Recebe 20.522	23.418	0	0
PC3	Recebe 238.808	343.041	Recebe 77.027	3.644
PC4	Recebe 169.818	243.941	Recebe 1.127.543	1.055.404
PC5	Recebe 254.729	365.910	Paga 2.325.959	4.337.435
PC6	Recebe 727.105	1.315.831	Paga 289.594	4.526.242
Total dos custos na bacia:				12.214.865

Tabela 6.13 Resultados da compensação financeira e custos finais para o tratamento otimizado segundo o enquadramento flexibilizado (US\$/ano).

	urbano		industrial	
	compensação	custo final	compensação	custo final
PC1	0	0	0	0
PC2	Recebe 43.839	7.881	0	0
PC3	Recebe 466.400	115.449	Recebe 79.445	1.226
PC4	Recebe 331.662	82.097	Paga 233.993	355.192
PC5	Recebe 497.493	123.146	Paga 1.120.292	1.459.747
PC6	Recebe 1.233.125	442.838	Paga 1.297.679	1.523.289
Total dos custos na bacia:				4.110.865

Uma alternativa que poderia viabilizar em curto prazo a implantação da proposta dos níveis de tratamento de esgotos otimizados seria atribuir, inicialmente, os custos do tratamento de todos os efluentes da bacia ao setor industrial, repassando-os gradualmente ao setor de saneamento, através de termos de compromisso firmados entre esses usuários e o Poder Público. Esta alternativa pode ser chamada de “subsídio temporário do setor industrial ao setor saneamento”.

Para simular tal alternativa, usa-se a mesma seqüência de cálculos realizada anteriormente, apenas alterando-se os valores de tratamento exigido do setor de saneamento para zero. Esse artifício viola a premissa de que os custos totais de tratamento otimizado devem ser menores que os custos totais do tratamento exigido para o setor saneamento, mas isso decorre do fato de que se está sendo “omisso” temporariamente com o setor saneamento, em termos de exigência de tratamento de esgotos.

Para o setor industrial a premissa continua sendo válida, ou seja, que os custos de cada usuário no tratamento otimizado, já com as devidas compensações, deve ser menor que os custos para cada usuário pelo tratamento exigido. Assim, caso os custos para os usuários do setor industrial aumentem de tal forma que superem os custos a eles exigidos pelo órgão ambiental, essa alternativa proposta não pode ser aplicada. As Tabelas 6.14 e 6.15 apresentam as compensações financeiras e os custos finais do tratamento otimizado (que são os custos da otimização acrescidos ou descontados da compensação) para o enquadramento aprovado (item 6.1) e para o enquadramento flexibilizado (item 6.2), na alternativa de subsídio temporário do setor industrial ao setor saneamento.

Tabela 6.14 Resultados da compensação financeira e custos finais para o tratamento otimizado segundo o enquadramento aprovado (US\$/ano), na alternativa temporária de compensação total do setor industrial ao setor saneamento.

	urbano		industrial	
	compensação	custo final	Compensação	custo final
PC1	0	0	0	0
PC2	Recebe 43.940	0	0	0
PC3	Recebe 581.849	0	Recebe 76.186	4.485
PC4	Recebe 413.759	0	Recebe 883.746	1.299.201
PC5	Recebe 620.639	0	Paga 3.327.902	5.339.378
PC6	Recebe 2.042.936	0	Paga 1.335.152	5.571.800
Total dos custos na bacia:			12.214.865	

Tabela 6.15 Resultados da compensação financeira e custos finais para o tratamento otimizado segundo o enquadramento flexibilizado (US\$/ano), na alternativa temporária de compensação total do setor industrial ao setor saneamento.

	urbano		industrial	
	compensação	custo final	compensação	custo final
PC1	0	0	0	0
PC2	Recebe 51.720	0	0	0
PC3	Recebe 581.849	0	Recebe 79.161	1.510
PC4	Recebe 413.759	0	Paga 316.042	437.241
PC5	Recebe 620.639	0	Paga 1.457.492	1.796.947
PC6	Recebe 1.675.963	0	Paga 1.649.558	1.875.168
Total dos custos na bacia:			4.110.865	

Comparando-se os custos atribuídos a cada usuário do setor industrial na alternativa de subsídios temporários das Tabelas 6.14 e 6.15 com os custos do tratamento exigido para o setor industrial pelo órgão ambiental (Tabelas 6.7 e 6.11) verifica-se que a alternativa de subsídio temporário proposta também é atraente para este setor usuário.

6.4 Comentários sobre as propostas apresentadas

A alternativa de níveis de tratamento propostas neste capítulo com as devidas compensações entre usuários, realizada pela abordagem custo-efetividade, objetivando, ao menor custo para a bacia, atender às metas de enquadramento, pode ser utilizada como um balizador para aplicação da cobrança pelo lançamento de efluentes na bacia, sob a ótica do *princípio poluidor-pagador* (PPP).

Os próprios limites de recepção de poluentes nos corpos d'água, que resultam das simulações realizadas aplicando-se de forma integrada os instrumentos de outorga de direitos de uso e do enquadramento dos corpos d'água em classes, também podem subsidiar a implantação de novos empreendimentos na bacia. Assim, indústrias que utilizam os conceitos de produção limpa, que considera a proteção ambiental já na fase de planejamento do empreendimento, tanto no projeto de novos produtos como na engenharia dos processos de produção, podem utilizar os resultados da aplicação conjunta dos instrumentos de gestão de recursos hídricos para planejarem sua inserção na bacia ou adequarem seus processos, caso já instaladas. Neste sentido, conforme Cybis (2006), a tendência atual na área de saneamento, especialmente do setor industrial, é o aumento das práticas de reúso da água dentro dos processos industriais e a crescente busca da redução da emissão de resíduos, inclusive de efluentes líquidos.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões serão realizadas de acordo com a análise dos resultados da aplicação do instrumento de outorga e dos níveis exigidos de tratamento para cada alternativa, visando ao atendimento dos objetivos de qualidade do rio Paranhana, em comparação com níveis exigidos através da aplicação de limites de concentração nos efluentes lançados.

7.1 Critérios de outorga

A análise dos critérios de outorga visa a atender o primeiro objetivo específico, previamente enunciado, desta pesquisa: Propor e avaliar, para o cenário de demandas atual e de 2015, critérios para outorga de uso de recursos hídricos, em termos de vazão outorgável, garantias de atendimento dos usos e utilização de vazões excedentes para captação e diluição de efluentes.

O critério de outorga da vazão de referência apresenta como resultado um atendimento, nos cenários atual e futuro, às demandas primárias e secundárias (ambas consuntivas). As demandas terciárias (vazões de diluição), não são atendidas em nenhum cenário proposto.

Já o critério de vazão de referência mensal passa a atender, em alguns meses do ano, em alguns cenários, demandas que não são atendidas pelo critério da vazão de referência anual. O ganho, contudo, é pequeno em relação à utilização de uma única vazão de referência para todo o ano, principalmente pelo fato de que a sazonalização do regime de vazões na bacia do rio Paranhana é pouco acentuada. O critério da vazão de referência mensal também pode dificultar o trabalho de fiscalização do órgão gestor em relação ao cumprimento das outorgas, uma vez que cada usuário poderá ser racionado nas suas demandas em alguns meses do ano, ou ter de aumentar seus níveis de tratamento de efluentes em algumas épocas.

Portanto, recomenda-se a adoção do critério de vazão de referência sazonal (mensal, por exemplo) quando os usos puderem ser organizados no tempo. Em uma bacia com usos predominantemente agrícolas, por exemplo, poderiam ser escalonados os calendários de irrigação das diversas culturas de modo a se adequar às demandas às disponibilidades hídricas mensais. Além disso, este critério parece ser mais adequado para adoção em bacias cujo regime de vazões tem forte sazonalidade, justificando o racionamento de certos usos na época da estiagem.

Analisando-se os resultados do critério da garantia de suprimento, verifica-se um maior atendimento às demandas em relação ao critério da vazão de referência anual e mensal, uma vez que usos menos prioritários puderam ser atendidos com garantias menores, que correspondem a maiores disponibilidades hídricas. Além disso, o critério que melhor sinaliza ao órgão gestor os pontos de falhas no atendimento às demandas e as ações necessárias para sua reversão também parece ser o critério da garantia de suprimento.

O critério da garantia de suprimento, porém, exige um maior controle por parte do órgão gestor para o cumprimento das outorgas. Neste critério é necessário um sistema de racionamento eficiente, em que cada setor usuário deve ter um indicativo do momento em que deve parar de captar/lançar. Este sistema pode ser implementado instalando-se réguas linimétricas em vários pontos do rio, e condicionando as outorgas dos usuários a interrupções na captação ou lançamento sempre que os níveis estiverem abaixo de determinadas cotas. Se o sistema for bem entendido pelos usuários, estes passam a exercer um controle social da outorga, no sentido de que os próprios usuários fiscalizam uns aos outros, facilitando o trabalho do órgão gestor na fiscalização do cumprimento das outorgas.

Ainda em relação ao critério da garantia de suprimento, a vazão ecológica é mantida caso sejam efetivamente cumpridos os racionamentos dos usuários consuntivos de acordo com as garantias de atendimento às suas demandas. Assim, quando o rio estiver com uma vazão inferior a sua Q_{95} , por exemplo, e as captações das demandas secundárias forem suspensas, a vazão ecológica será a própria vazão do rio descontada da Q_{99} destinada para as demandas primárias.

O critério da vazão excedente, ao mesmo tempo em que disponibiliza maiores volumes outorgáveis, demanda do órgão gestor um controle muito mais efetivo no cumprimento das outorgas, uma vez que cada usuário tem garantias diferentes, mesmo em relação a outros usuários do mesmo setor usuário, mas que estejam em Pontos de Controle diferentes.

7.2 Níveis de tratamento de efluentes propostos e alternativas de gestão para a bacia

A análise dos níveis de tratamento propostos para os efluentes visa a atender o segundo objetivo específico previamente enunciado: Propor e analisar propostas de medidas para atendimento às demandas simultaneamente ao enquadramento, através das seguintes medidas:

flexibilização no enquadramento e alternativas otimizadas de tratamento de efluentes, com esquema de compensação financeira entre usuários.

Conforme já visto anteriormente, alguns autores desenvolveram estudos no sentido da proposição de alternativas de gestão para a bacia do rio dos Sinos, na qual a bacia do rio Paranhana está inserida. Cánepa et al (1999) realizaram uma análise custo-efetividade, comparando algumas alternativas de tratamento na bacia. Matzenauer (2003) propõe estratégias de gestão para a bacia do rio dos Sinos, desenvolvidas através de uma análise multicritério com a participação do COMITESINOS, que envolvem várias ações, dentre as quais a proposição de que deve haver tratamento de efluentes na bacia. Este trabalho procurou dar um subsídio metodológico no que diz respeito aos níveis de tratamento na bacia que devem ser praticados pelos usuários para o atendimento às normas vigentes, ao menor custo para a bacia. O subsídio metodológico proposto pode ser aplicado também em outras bacias hidrográficas.

Em resumo, visto que alguns trabalhos desenvolvidos já mostraram a necessidade de tratamento de efluentes na bacia do rio dos Sinos, este trabalho procurou dar um subsídio em relação aos níveis de tratamento de efluentes que devem ocorrer na bacia ao menor custo, sob o aspecto da aplicação dos instrumentos jurídicos, em especial o enquadramento dos corpos d'água em classes e a outorga de direitos de uso.

Assim, a alternativa de níveis otimizados de tratamento de efluentes na bacia proposta neste trabalho atende às classes de enquadramento do rio Paranhana, nas duas propostas de enquadramento apresentadas, atendendo assim ao padrão exigido no corpo d'água. Já o órgão ambiental licenciador está preocupado com o impacto dos lançamentos no meio ambiente, balizando sua análise pelo padrão exigido no lançamento. Esta análise tem forte relação com o impacto local do lançamento. O órgão ambiental, porém, não tem analisado o impacto do conjunto de empreendimentos na bacia, notadamente no que diz respeito ao lançamento de efluentes. Conforme Lanna (2000b), os órgãos ambientais usualmente ignoram a capacidade de assimilação de resíduos pelo meio ambiente, determinando licenças orientadas pela qualidade do efluente e não pela resultante no corpo receptor.

Os resultados deste trabalho mostraram que, para o caso do rio Paranhana, os níveis atuais de tratamento de efluentes, que se baseiam na aplicação de instrumento comando-e-controle – padrões de lançamento –, ainda não atendem ao enquadramento do rio. Já os níveis de

tratamento propostos neste trabalho atenderiam o enquadramento do rio Paranhana, a um custo menor para a bacia como um todo, do que o custo correspondente ao tratamento nos níveis decorrentes dos padrões de lançamento exigido pelo órgão ambiental. Além disso, este trabalho propôs um esquema de compensação financeira entre usuários que, para o caso do rio Paranhana, tornou a proposta de níveis de tratamento otimizados na bacia economicamente atrativa a todos os usuários, em relação aos seus custos caso tivessem de tratar seus efluentes nos níveis exigidos pelo órgão ambiental.

Para que a alternativa de níveis de tratamento de efluentes proposta neste trabalho tenha viabilidade legal, é necessária uma articulação entre os órgãos de recursos hídricos, ambientais e Poder Judiciário, para que seja aceita uma flexibilização nos padrões de lançamento de alguns empreendimentos em favor de uma melhora da qualidade em todo o corpo d'água. Neste sentido, o artigo 25 da Resolução CONAMA nº. 357/2005 prevê a permissão, por parte do órgão ambiental, de uma autorização de lançamento de efluentes acima dos padrões de lançamento exigidos, desde que, entre outras exigências, seja garantido o *“atendimento ao enquadramento e às metas intermediárias e finais, progressivas e obrigatórias”*.

No caso específico do rio Paranhana, um bom argumento a favor da alternativa proposta reside no fato de que, atualmente, os padrões de lançamento não são cumpridos por todos os usuários, especialmente o setor de saneamento. Caso este setor fosse obrigado a cumprir os padrões de lançamento do órgão ambiental, seus custos seriam maiores que os custos da alternativa de tratamento proposta com as devidas compensações entre usuários. Assim, a alternativa proposta teria um forte apelo junto a este setor usuário também, pois ele estaria se regularizando junto aos órgãos ambientais e de recursos hídricos a um custo menor em relação às exigências definidas pelos padrões de lançamento.

Uma alternativa que proporcionaria ao setor de saneamento possibilidades ainda maiores de atender aos níveis de tratamento preconizados é o *“subsídio temporário do setor industrial ao setor de saneamento”*, onde o primeiro subsidiaria o segundo temporariamente, para que este último trate seus efluentes nos níveis obtidos com a otimização. O setor industrial também poderia aceitar esta alternativa na medida em que seus custos ainda não superariam os custos do tratamento exigido pelo órgão ambiental, conforme comparação das Tabelas 6.14 e 6.15 com as Tabelas 6.7 e 6.11.

A participação dos usuários, sociedade civil e poder público numa proposição otimizada dos níveis de tratamento de efluentes na bacia que atendessem às normas legais e que, além do critério econômico utilizado neste trabalho, também contemplasse outros critérios, garantiria maior legitimidade a essa alternativa. Um fórum apropriado para esta discussão seria o Comitê de Bacia, que poderia recomendar ações de tratamento de esgotos na bacia dentro do Plano de Recursos Hídricos, incluindo nestas recomendações os níveis de tratamento a serem adotados pelos diversos setores usuários em diversos pontos da bacia para atendimento ao enquadramento dos rios. A própria análise custo-efetividade do tratamento de efluentes pode auxiliar na decisão da aplicação de recursos na bacia, deliberada pelo próprio Comitê de Bacia quando da implementação do instrumento da cobrança.

Também em relação ao instrumento da cobrança, os níveis de tratamento otimizados propostos também poderiam ser utilizados na definição de valores de cobrança pelo lançamento de esgotos, para que estes valores induzam os poluidores a tratarem seus efluentes nos níveis ótimos propostos, seguindo a aplicação do Princípio Poluidor Pagador (PPP).

A alternativa proposta de níveis de tratamento de efluentes na bacia obtida a partir do “enquadramento flexibilizado” proposto neste trabalho poderia ser entendida como uma alternativa de transição entre os níveis atuais de tratamento de efluentes e os níveis que atendam ao enquadramento aprovado pelo Comitê da Bacia do rio dos Sinos. A alternativa de transição é importante para que os setores usuários assimilem tais custos, “internalizando” gradualmente um passivo que atualmente é pago por toda a sociedade.

Recomenda-se que, para um avanço da metodologia de obtenção de níveis de tratamento de efluentes preconizada neste trabalho, com vistas a uma eventual aplicação, se faça previamente uma análise de sensibilidade da otimização proposta, verificando quais os parâmetros envolvidos na otimização que causam maiores mudanças nos valores da função-objetivo. Isto pode ser feito variando-se os valores empregados nas restrições de cada parâmetro (lado direito das equações de restrição) e verificando-se as alterações na função-objetivo. Esta análise é interessante para se saber qual o refinamento que se deve exigir para cada variável envolvida na otimização, o que pode economizar tempo e recursos no levantamento de dados e no grau de detalhamento dos modelos matemáticos envolvidos, especialmente dos modelos hidrológico e de qualidade da água.

Finalizando, constata-se, por meio do caso estudado neste trabalho, que pode ser generalizado, que o uso de critérios econômicos permite uma melhor calibração de instrumentos de gestão do tipo comando-e-controle, inserindo a lógica de eficiência na Gestão de Recursos Hídricos. A hipótese formulada, de que os instrumentos do tipo comando-e-controle apresentados pela Política Nacional de Recursos Hídricos podem ser aperfeiçoados à luz de abordagens econômicas foi assim comprovada.

8. BIBLIOGRAFIA

ANA. 2003. Base de Dados do Plano Nacional de Recursos Hídricos. Documento Base de Referência – Versão 002. Brasília-DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – SPR/ANA;

ANA. 2004. Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco – PBHSF -Resumo Executivo. Brasília-DF: Agência Nacional de Águas;

Braga, B.P.F. e Gobetti, L. 1997. Análise Multiobjetivo. *In*: Técnicas Quantitativas para o gerenciamento dos Recursos Hídricos. Rubem La Laina Porto (organizador). Porto Alegre-RS: ABRH;

Brasil 1934. Código de Águas. Decreto nº. 24.643, de 10 de julho de 1934;

Brasil 1940. Código Penal;

Brasil 1960. Decreto Federal nº. 50.877 de 1960;

Brasil 1976. Portaria do Ministério do Interior nº. 13, de 1976;

Brasil 1981. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei nº. 6.938, de 31 de agosto de 1981;

Brasil 1986. Resolução CONAMA nº. 20, de 18 de junho de 1986;

Brasil 1988. Constituição da República Federativa do Brasil;

Brasil 1997. Política Nacional dos Recursos Hídricos. Lei nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997;

Brasil 1997. Resolução CONAMA nº. 237, de 19 de dezembro de 1997;

Brasil 2000. Lei nº. 9.984, de 17 de julho de 2000;

Brasil 2001. Resolução CNRH nº. 16, de 08 de maio de 2001.

Brasil 2005. Resolução CONAMA nº. 357, de 17 de março de 2005.

Câmara, A.C.F.C. 2003. Análise da Vazão Máxima Outorgável e da Introdução Simplificada da Qualidade da Água no Processo de Outorga da Bacia do rio Gramame (PB). Dissertação de Mestrado. Porto Alegre-RS: IPH/UFRGS

Cánepa, E.M; Pereira, J.S.; Lanna, A.E.L. 1999. A Política de Recursos Hídricos e o Princípio Usuário-Pagador (PUP). *In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol.4 n.1 p.103-117. Porto Alegre-RS: ABRH;

Cardoso da Silva, L. M. 1997. Análise de Critérios para Outorga dos Direitos de Uso da Água na Bacia do Rio Branco – BA. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: IPH/UFRGS;

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica. 1991. Regionalização de Vazões do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS: CEEE/IPH;

Cybis, L.F.A. 2006. Comunicação pessoal.

Collischonn, W. e Agra, S.G. 2004. Introdução ao Manejo Ecologicamente Sustentável da Água com Ênfase à bacia do rio Cuiabá - Relatório apresentado à FEMA MT e à TNC do Brasil como parte das atividades do projeto Implantação das bases do Manejo Ecologicamente Sustentável da Água na bacia do rio Cuiabá. Cuiabá-MT: FEMA;

COMITESINOS. 2005. Página na *web*: www.comitesinos.com.br

Conejo, J.G.L. 1993. Outorga de usos da água como instrumento de gerenciamento dos recursos hídricos. *In: Revista de Administração Pública*. São Paulo-SP: v.27 n.2 p.28-62;

Cruz, J.C. 2001. Disponibilidade Hídrica para Outorga – Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais. Tese de Doutorado. Porto Alegre-RS: IPH/UFRGS;

ELETROBRAS. 2005 Diretrizes para Projetos de PCH. Rio de Janeiro-RJ: ELETROBRAS, disponível em www.eletrobras.gov.br;

Garcia, R. L. e Tucci, C. E. M. 2000. Simulação da Qualidade da Água em Rios em Regime Não-Permanente: Rio dos Sinos. *In: Recursos Hídricos*. Lisboa. vol 21. n.2 p.17-26;

Haase, J. 2002. Relatório para o Projeto Marca D'Água: A Bacia do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul – 2001. Brasília-DF: Projeto Marca D'Água;

Hiez G., Rancan L., Costa Barros M., Jacon G. 1983. Vetor Regional. Informativo Técnico, N° 3. Brasília-DF: DNAEE, 34 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1996. Censo Agropecuário. Rio de Janeiro: IBGE;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2000. Censo Demográfico Populacional Brasileiro. Rio de Janeiro-RJ: IBGE;

Kelman, J. 1997. Gerenciamento de Recursos Hídricos: Outorga e Cobrança. *In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória-ES: ABRH;

Lanna, A.E.L. 1997. MODHAC – Modelo Hidrológico Auto-Calibrável. Porto Alegre-RS: IPH/UFRGS;

Lanna, A.E.L. 1997b. PROPAGAR – Modelo de Simulação Hidrológica Quantitativa de Bacia Hidrográfica. Porto Alegre-RS: IPH/UFRGS;

Lanna, A.E.L. 1998. Texto de Referência da disciplina Análise Sistêmica de Recursos Hídricos, HIDP-64. Porto Alegre-RS: UFRGS/IPH – Curso de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental;

Lanna, A.E.L. 1999. Texto de Referência da disciplina Gestão dos Recursos Hídricos, HIDP-78. Porto Alegre: UFRGS/IPH – Curso de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental;

Lanna, A.E.L. 2000. Texto de Referência da disciplina Economia dos Recursos Hídricos, HIDP-04. Porto Alegre: UFRGS/IPH – Curso de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental;

Lanna, A.E.L. 2000b. A inserção da Gestão das Águas na Gestão Ambiental. *In: Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos e Desafios da Lei das Águas de 1997*. Hector Raul Muñoz Espinosa (organizador). Brasília-DF: Secretaria de Recursos Hídricos;

Lanna, A.E.L.; Benetti, A.D. 2000. Estabelecimento de Critérios para Definição da Vazão Ecológica no Rio Grande do Sul – Relatório Final. Porto Alegre: FEPAM;

Leal, M.S. 1998. Gestão Ambiental de Recursos Hídricos: Princípios e Aplicações. Rio de Janeiro: CPRM;

Leeuwestein, J.M e Monteiro, R.A. 2001. Procedimentos Técnicos para Enquadramento de Corpos de Água – Documento Orientativo. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente;

Lima, H. V. C; Lanna, A. E. L. 2001. Operação Ótima de Sistemas de Reservatórios - Aplicação ao Sistema da Região Metropolitana de Fortaleza . *In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Aracaju-SE: ABRH;

Magna Engenharia Ltda. 1996. Simulação de uma Proposta de Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio dos Sinos, RS – Relatório Final dos Estudos. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul;

Matzenauer, H.B. 2003. Uma Metodologia Multicritério Construtivista de Avaliação de Alternativas para o Planejamento de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas. Tese de Doutorado. Porto Alegre-RS: IPH/UFRGS;

Medeiros, M.J. 2000. Avaliação da Vazão Referencial como Critério de Outorga dos Direitos de Uso das Águas na Bacia do rio Paraopeba. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte-MG: UFMG;

Moreira, R.M. e Kelman, J. 2003. Alocação de Recursos Hídricos Baseada no Custo de Oportunidade dos Usuários. *In: O Estado das Águas no Brasil 2001 – 2002*. Marcos A. V. Freitas (organizador). Brasília-DF: Agência Nacional de Águas – ANA;

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. 2004. Vazões Médias Mensais nos Aproveitamentos Hidrelétricos – Período 1931 a 2001. Rio de Janeiro-RJ: ONS;

Pante, A.R; Pozzebon, E.J; Cardoso da Silva, L.M. 2005. Estimativa de Vazões de Referência Ótimas para Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos para Irrigação – Estudo de Caso. *In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul - Aguasul*. Santa Maria-RS: ABRH;

Pereira, J. S. 1996. Análise de Critérios de Outorga e Cobrança pelo Uso da Água na Bacia do Rio dos Sinos, RS. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre-RS: IPH/UFRGS;

Pereira, J. S; Lanna, A. E. 1996. Análise de Critério de Outorga dos Direitos de Uso da Água. *In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. Salvador: ABRH;

Pereira, J. S. 2002. A Cobrança pelo Uso da Água como Instrumento de Gestão dos Recursos Hídricos: Da Experiência Francesa à Prática Brasileira. Tese de Doutorado. Porto Alegre-RS: IPH/UFRGS;

Ribeiro, M.M.R. 2000. Alternativas para a Outorga e a Cobrança pelo Uso da Água: Simulação de um caso. Tese de Doutorado. Porto Alegre: IPH/UFRGS;

Rio Grande do Sul. 1989. Portaria 05, de 16 de março de 1989;

Rio Grande do Sul 1994. Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994;

Rio Grande do Sul 1996. Decreto nº 37.033, de 21 de novembro de 1996;

Santos, M.O.R.M. 2002. O Impacto da Cobrança pelo Uso da Água no Comportamento do Usuário. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro-RJ: COPPE/UFRJ;

Sarmiento, R; Pelissari, V. B. 1999. Determinação da Vazão Residual dos Rios: Estado-da-Arte. *In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Belo Horizonte: ABRH;

Silva Filho, D. e Carneiro, A. A. F. M. 2004. Dimensionamento evolutivo de usinas hidroelétricas. *In: Sba Controle & Automação, Out./Dez. 2004, vol.15, no.4, p.437-448*. São Paulo-SP: Sociedade Brasileira de Automática;

Silveira, G.L. 1997. Quantificação de Vazões em Pequenas Bacias com Carência de Dados Fluviométricos. Tese de Doutorado. Porto Alegre-RS: IPH/UFRGS;

Silveira, G.L.; Tucci, C.E.M.; Silveira, A.L.L. 1998. Quantificação de Vazão em Pequenas Bacias sem Dados. *In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. V. 3 n.3 p.111-131. Porto Alegre-RS: ABRH;

Tucci, C. E. M. 1998. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS/ABRH;

Tucci, C. E. M. 2002. Regionalização de Vazões. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS;

Turner, R.K.; Pearce, D.; Bateman, I. 1994. Environmental Economics – an elementary introduction. Londres: Harvest Wheatsheat;

Viegas Filho, J. S. 2000. O Paradigma da Modelagem Orientada a Objetos: Aplicado a Sistemas de Apoio à Decisão em Sistemas de Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Porto Alegre: IPH/UFRGS;

Viegas Filho, J.S; Lanna, A.E.L.; Conceição, A.R. 2001. A Linguagem Pascal Script e sua Aplicação ao PROPAGAR MOO. *In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Aracaju-SE: ABRH;

Von Sperling, M. 1996. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Belo Horizonte-MG: DESA/UFMG;

Von Sperling, M. 1996b. Padrões de Efluentes e de Corpos d'água adotados no Brasil: Uma análise da Resolução CONAMA nº 20. *In: Seminário Internacional de Tratamento e Disposição de Esgotos Sanitários*. Brasília: CAESB;

Von Sperling, M. 1998. Associação entre a Legislação Brasileira de Qualidade da Água (Resolução CONAMA 20/86) e a Seleção de Processos de Tratamento de Esgotos. *In: Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.3, n. 1-2, p.67-73.

ANEXO 1 – SÉRIES DE VAZÕES

Anexo 1 – Vazões incrementais geradas para os Pontos de Controle (m³/s)

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
mai/41	1,368	1,526	2,328	0,395	0,894	1,118	jul/45	1,525	1,701	2,595	0,440	0,997	1,246
jun/41	0,788	0,879	1,342	0,227	0,516	0,644	ago/45	3,847	4,290	6,547	1,110	2,515	3,144
jul/41	0,784	0,874	1,334	0,226	0,513	0,641	set/45	1,562	1,743	2,659	0,451	1,022	1,277
ago/41	0,711	0,793	1,211	0,205	0,465	0,581	out/45	2,654	2,961	4,517	0,766	1,736	2,169
set/41	0,677	0,755	1,153	0,195	0,443	0,554	nov/45	0,986	1,100	1,679	0,285	0,645	0,806
out/41	9,329	10,405	15,877	2,691	6,100	7,625	dez/45	1,254	1,398	2,134	0,362	0,820	1,025
nov/41	3,485	3,887	5,931	1,005	2,279	2,848	jan/46	4,337	4,837	7,381	1,251	2,836	3,544
dez/41	0,856	0,955	1,457	0,247	0,560	0,700	fev/46	3,786	4,223	6,443	1,092	2,475	3,094
jan/42	0,507	0,566	0,864	0,146	0,332	0,415	mar/46	1,092	1,218	1,859	0,315	0,714	0,893
fev/42	0,578	0,645	0,985	0,167	0,378	0,473	abr/46	1,474	1,644	2,508	0,425	0,964	1,204
mar/42	0,405	0,452	0,689	0,117	0,265	0,331	mai/46	2,960	3,302	5,038	0,854	1,936	2,419
abr/42	0,451	0,503	0,768	0,130	0,295	0,369	jun/46	4,788	5,340	8,149	1,381	3,131	3,913
mai/42	5,233	5,837	8,906	1,510	3,422	4,277	jul/46	3,580	3,993	6,093	1,033	2,341	2,926
jun/42	1,917	2,138	3,262	0,553	1,253	1,567	ago/46	2,564	2,860	4,364	0,740	1,677	2,096
jul/42	1,255	1,400	2,136	0,362	0,821	1,026	set/46	1,724	1,923	2,934	0,497	1,127	1,409
ago/42	0,981	1,094	1,670	0,283	0,642	0,802	out/46	3,042	3,393	5,177	0,877	1,989	2,486
set/42	1,578	1,760	2,685	0,455	1,032	1,289	nov/46	2,204	2,458	3,751	0,636	1,441	1,801
out/42	2,798	3,121	4,763	0,807	1,830	2,287	dez/46	5,075	5,661	8,638	1,464	3,319	4,148
nov/42	1,282	1,430	2,182	0,370	0,838	1,048	jan/47	1,789	1,995	3,044	0,516	1,170	1,462
dez/42	1,869	2,084	3,180	0,539	1,222	1,527	fev/47	2,565	2,861	4,366	0,740	1,677	2,097
jan/43	1,613	1,799	2,745	0,465	1,055	1,318	mar/47	2,190	2,443	3,727	0,632	1,432	1,790
fev/43	0,872	0,972	1,483	0,251	0,570	0,712	abr/47	0,674	0,752	1,148	0,195	0,441	0,551
mar/43	0,619	0,690	1,053	0,178	0,404	0,506	mai/47	5,432	6,059	9,245	1,567	3,552	4,440
abr/43	0,408	0,455	0,694	0,118	0,267	0,333	jun/47	2,603	2,904	4,431	0,751	1,702	2,128
mai/43	0,741	0,827	1,262	0,214	0,485	0,606	jul/47	2,148	2,396	3,656	0,620	1,405	1,756
jun/43	3,461	3,860	5,890	0,998	2,263	2,829	ago/47	1,292	1,441	2,199	0,373	0,845	1,056
jul/43	1,904	2,124	3,241	0,549	1,245	1,556	set/47	1,785	1,991	3,038	0,515	1,167	1,459
ago/43	0,812	0,906	1,382	0,234	0,531	0,664	out/47	2,823	3,149	4,805	0,814	1,846	2,308
set/43	0,772	0,861	1,313	0,223	0,504	0,631	nov/47	1,232	1,375	2,097	0,356	0,806	1,007
out/43	0,507	0,565	0,862	0,146	0,331	0,414	dez/47	2,599	2,898	4,422	0,750	1,699	2,124
nov/43	0,279	0,312	0,476	0,081	0,183	0,228	jan/48	3,876	4,323	6,596	1,118	2,534	3,168
dez/43	0,167	0,186	0,284	0,048	0,109	0,136	fev/48	4,791	5,344	8,154	1,382	3,132	3,916
jan/44	2,920	3,257	4,970	0,842	1,910	2,387	mar/48	5,411	6,036	9,210	1,561	3,538	4,423
fev/44	1,789	1,995	3,044	0,516	1,170	1,462	abr/48	2,103	2,345	3,579	0,607	1,375	1,719
mar/44	3,070	3,424	5,225	0,886	2,007	2,509	mai/48	4,329	4,829	7,368	1,249	2,831	3,538
abr/44	1,140	1,272	1,940	0,329	0,745	0,932	jun/48	3,167	3,532	5,390	0,914	2,071	2,588
mai/44	0,543	0,606	0,924	0,157	0,355	0,444	jul/48	2,975	3,318	5,063	0,858	1,945	2,432
jun/44	0,731	0,816	1,245	0,211	0,478	0,598	ago/48	1,642	1,831	2,794	0,474	1,074	1,342
jul/44	1,985	2,214	3,379	0,573	1,298	1,622	set/48	2,435	2,716	4,144	0,702	1,592	1,990
ago/44	1,971	2,199	3,355	0,569	1,289	1,611	out/48	1,605	1,790	2,731	0,463	1,049	1,311
set/44	2,338	2,607	3,978	0,674	1,528	1,911	nov/48	2,283	2,546	3,885	0,658	1,492	1,866
out/44	2,563	2,858	4,362	0,739	1,676	2,095	dez/48	1,096	1,222	1,865	0,316	0,716	0,895
nov/44	1,571	1,752	2,673	0,453	1,027	1,284	jan/49	4,142	4,620	7,049	1,195	2,708	3,385
dez/44	0,897	1,001	1,527	0,259	0,587	0,733	fev/49	2,606	2,907	4,435	0,752	1,704	2,130
jan/45	0,563	0,628	0,959	0,162	0,368	0,460	mar/49	4,548	5,072	7,740	1,312	2,973	3,717
fev/45	0,906	1,011	1,542	0,261	0,592	0,741	abr/49	2,810	3,134	4,782	0,810	1,837	2,296
mar/45	0,760	0,847	1,293	0,219	0,497	0,621	mai/49	2,054	2,291	3,496	0,593	1,343	1,679
abr/45	0,738	0,823	1,256	0,213	0,483	0,603	jun/49	2,538	2,830	4,319	0,732	1,659	2,074
mai/45	0,862	0,961	1,467	0,249	0,564	0,704	jul/49	3,705	4,132	6,305	1,069	2,422	3,028
jun/45	2,760	3,078	4,697	0,796	1,805	2,256	ago/49	2,189	2,442	3,726	0,631	1,431	1,789

Anexo 1 - Vazões incrementais geradas para os Pontos de Controle (m³/s) - continuação

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
set/49	4,328	4,827	7,365	1,248	2,830	3,537	nov/53	3,156	3,520	5,371	0,910	2,064	2,580
out/49	3,046	3,398	5,184	0,879	1,992	2,490	dez/53	0,912	1,018	1,553	0,263	0,597	0,746
nov/49	0,725	0,809	1,235	0,209	0,474	0,593	jan/54	6,926	7,725	11,787	1,998	4,528	5,660
dez/49	2,273	2,535	3,868	0,656	1,486	1,857	fev/54	8,316	9,276	14,154	2,399	5,438	6,797
jan/50	1,752	1,954	2,982	0,505	1,145	1,432	mar/54	4,877	5,440	8,301	1,407	3,189	3,986
fev/50	2,409	2,687	4,100	0,695	1,575	1,969	abr/54	3,340	3,725	5,684	0,963	2,184	2,729
mar/50	2,761	3,079	4,699	0,796	1,805	2,256	mai/54	1,988	2,218	3,384	0,574	1,300	1,625
abr/50	1,189	1,326	2,023	0,343	0,777	0,972	jun/54	5,883	6,561	10,012	1,697	3,846	4,808
mai/50	1,011	1,128	1,721	0,292	0,661	0,826	jul/54	7,256	8,093	12,349	2,093	4,744	5,930
jun/50	1,912	2,133	3,254	0,552	1,250	1,563	ago/54	3,529	3,937	6,007	1,018	2,308	2,885
jul/50	1,118	1,247	1,902	0,322	0,731	0,913	set/54	12,867	14,351	21,898	3,712	8,413	10,516
ago/50	2,959	3,300	5,036	0,854	1,935	2,418	out/54	6,008	6,702	10,226	1,733	3,929	4,911
set/50	1,243	1,387	2,116	0,359	0,813	1,016	nov/54	1,135	1,266	1,932	0,327	0,742	0,928
out/50	4,875	5,437	8,296	1,406	3,187	3,984	dez/54	1,238	1,380	2,106	0,357	0,809	1,012
nov/50	1,081	1,206	1,841	0,312	0,707	0,884	jan/55	1,994	2,224	3,394	0,575	1,304	1,630
dez/50	2,024	2,257	3,444	0,584	1,323	1,654	fev/55	6,596	7,357	11,226	1,903	4,313	5,391
jan/51	4,487	5,005	7,637	1,294	2,934	3,668	mar/55	5,975	6,664	10,168	1,723	3,906	4,883
fev/51	6,744	7,522	11,478	1,945	4,410	5,512	abr/55	7,753	8,647	13,194	2,236	5,069	6,336
mar/51	4,158	4,637	7,076	1,199	2,719	3,398	mai/55	4,711	5,255	8,018	1,359	3,080	3,851
abr/51	3,045	3,397	5,183	0,878	1,991	2,489	jun/55	3,863	4,309	6,575	1,114	2,526	3,157
mai/51	2,566	2,862	4,367	0,740	1,678	2,097	jul/55	3,816	4,256	6,495	1,101	2,495	3,119
jun/51	1,578	1,761	2,686	0,455	1,032	1,290	ago/55	4,131	4,607	7,030	1,192	2,701	3,376
jul/51	0,752	0,839	1,280	0,217	0,492	0,615	set/55	5,065	5,649	8,620	1,461	3,311	4,139
ago/51	0,619	0,691	1,054	0,179	0,405	0,506	out/55	4,805	5,360	8,178	1,386	3,142	3,927
set/51	5,521	6,158	9,397	1,593	3,610	4,513	nov/55	2,232	2,489	3,798	0,644	1,459	1,824
out/51	8,034	8,961	13,673	2,317	5,253	6,566	dez/55	1,969	2,196	3,351	0,568	1,287	1,609
nov/51	5,110	5,700	8,697	1,474	3,341	4,176	jan/56	5,888	6,568	10,021	1,699	3,850	4,813
dez/51	1,998	2,228	3,400	0,576	1,306	1,633	fev/56	7,437	8,295	12,657	2,145	4,862	6,078
jan/52	1,105	1,233	1,881	0,319	0,723	0,903	mar/56	2,549	2,843	4,338	0,735	1,667	2,083
fev/52	3,063	3,417	5,214	0,884	2,003	2,504	abr/56	7,130	7,952	12,134	2,057	4,662	5,827
mar/52	2,261	2,522	3,848	0,652	1,478	1,848	mai/56	2,309	2,575	3,929	0,666	1,510	1,887
abr/52	1,261	1,406	2,145	0,364	0,824	1,030	jun/56	4,602	5,133	7,832	1,328	3,009	3,761
mai/52	0,935	1,043	1,591	0,270	0,611	0,764	jul/56	1,435	1,600	2,442	0,414	0,938	1,173
jun/52	4,543	5,068	7,733	1,311	2,971	3,713	ago/56	2,678	2,987	4,558	0,773	1,751	2,189
jul/52	3,538	3,946	6,021	1,021	2,313	2,892	set/56	3,619	4,037	6,160	1,044	2,367	2,958
ago/52	1,877	2,093	3,194	0,541	1,227	1,534	out/56	5,361	5,979	9,124	1,546	3,505	4,381
set/52	1,879	2,096	3,197	0,542	1,228	1,536	nov/56	1,806	2,014	3,074	0,521	1,181	1,476
out/52	3,318	3,701	5,647	0,957	2,170	2,712	dez/56	1,731	1,931	2,947	0,499	1,132	1,415
nov/52	2,349	2,620	3,998	0,678	1,536	1,920	jan/57	4,792	5,345	8,156	1,382	3,133	3,917
dez/52	3,488	3,891	5,936	1,006	2,281	2,851	fev/57	4,374	4,879	7,444	1,262	2,860	3,575
jan/53	2,633	2,936	4,481	0,759	1,721	2,152	mar/57	3,590	4,004	6,110	1,036	2,347	2,934
fev/53	3,871	4,318	6,589	1,117	2,531	3,164	abr/57	9,401	10,486	16,000	2,712	6,147	7,684
mar/53	1,249	1,393	2,126	0,360	0,817	1,021	mai/57	2,985	3,329	5,080	0,861	1,952	2,439
abr/53	5,517	6,154	9,390	1,592	3,608	4,509	jun/57	2,559	2,854	4,355	0,738	1,673	2,091
mai/53	1,388	1,548	2,363	0,400	0,908	1,135	jul/57	3,730	4,161	6,348	1,076	2,439	3,049
jun/53	4,091	4,563	6,962	1,180	2,675	3,343	ago/57	7,696	8,584	13,097	2,220	5,032	6,290
jul/53	3,795	4,233	6,458	1,095	2,481	3,102	set/57	6,772	7,554	11,526	1,954	4,428	5,535
ago/53	2,720	3,034	4,629	0,785	1,778	2,223	out/57	3,112	3,471	5,297	0,898	2,035	2,544
set/53	7,371	8,221	12,545	2,126	4,819	6,024	nov/57	3,604	4,020	6,133	1,040	2,356	2,945
out/53	8,288	9,244	14,106	2,391	5,419	6,774	dez/57	3,378	3,767	5,749	0,974	2,209	2,761

Anexo 1 - Vazões incrementais geradas para os Pontos de Controle (m³/s) - continuação

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
jan/58	4,673	5,212	7,953	1,348	3,056	3,819	mar/62	1,563	1,744	2,660	0,451	1,022	1,278
fev/58	2,125	2,370	3,616	0,613	1,389	1,737	abr/62	3,708	4,136	6,311	1,070	2,425	3,031
mar/58	6,395	7,133	10,884	1,845	4,181	5,227	mai/62	0,781	0,871	1,330	0,225	0,511	0,638
abr/58	1,090	1,216	1,855	0,314	0,713	0,891	jun/62	0,958	1,068	1,630	0,276	0,626	0,783
mai/58	1,671	1,864	2,844	0,482	1,093	1,366	jul/62	1,072	1,196	1,824	0,309	0,701	0,876
jun/58	5,395	6,017	9,182	1,556	3,527	4,409	ago/62	1,204	1,343	2,049	0,347	0,787	0,984
jul/58	1,314	1,465	2,235	0,379	0,859	1,074	set/62	2,456	2,739	4,179	0,708	1,606	2,007
ago/58	2,959	3,300	5,036	0,854	1,935	2,418	out/62	1,036	1,155	1,763	0,299	0,677	0,846
set/58	6,177	6,889	10,512	1,782	4,039	5,048	nov/62	0,659	0,735	1,122	0,190	0,431	0,539
out/58	5,110	5,700	8,697	1,474	3,341	4,177	dez/62	1,388	1,548	2,362	0,400	0,907	1,134
nov/58	4,574	5,102	7,785	1,319	2,991	3,738	jan/63	6,262	6,985	10,658	1,806	4,094	5,118
dez/58	9,545	10,647	16,246	2,753	6,241	7,802	fev/63	8,024	8,949	13,656	2,314	5,246	6,558
jan/59	3,908	4,359	6,652	1,127	2,556	3,194	mar/63	4,181	4,663	7,116	1,206	2,734	3,417
fev/59	3,490	3,892	5,939	1,007	2,282	2,852	abr/63	1,541	1,719	2,622	0,444	1,007	1,259
mar/59	4,639	5,174	7,895	1,338	3,033	3,792	mai/63	0,928	1,035	1,579	0,268	0,607	0,758
abr/59	3,973	4,432	6,763	1,146	2,598	3,248	jun/63	0,716	0,799	1,219	0,207	0,468	0,585
mai/59	3,573	3,986	6,081	1,031	2,336	2,920	jul/63	1,056	1,178	1,798	0,305	0,691	0,863
jun/59	5,572	6,215	9,484	1,607	3,643	4,554	ago/63	4,908	5,474	8,353	1,416	3,209	4,011
jul/59	3,252	3,627	5,534	0,938	2,126	2,658	set/63	3,311	3,694	5,636	0,955	2,165	2,706
ago/59	11,529	12,860	19,622	3,326	7,538	9,423	out/63	9,566	10,670	16,281	2,760	6,255	7,819
set/59	10,558	11,777	17,969	3,046	6,903	8,629	nov/63	3,372	3,761	5,739	0,973	2,205	2,756
out/59	3,751	4,184	6,384	1,082	2,453	3,066	dez/63	5,111	5,700	8,698	1,474	3,342	4,177
nov/59	1,012	1,129	1,723	0,292	0,662	0,827	jan/64	1,150	1,283	1,957	0,332	0,752	0,940
dez/59	2,962	3,304	5,041	0,854	1,937	2,421	fev/64	1,600	1,784	2,723	0,461	1,046	1,307
jan/60	2,979	3,323	5,071	0,859	1,948	2,435	mar/64	1,899	2,118	3,232	0,548	1,242	1,552
fev/60	5,951	6,638	10,129	1,717	3,891	4,864	abr/64	2,576	2,874	4,385	0,743	1,685	2,106
mar/60	2,244	2,503	3,820	0,647	1,468	1,834	mai/64	1,905	2,125	3,242	0,549	1,245	1,557
abr/60	4,297	4,793	7,313	1,240	2,810	3,512	jun/64	0,952	1,062	1,620	0,275	0,622	0,778
mai/60	1,578	1,760	2,685	0,455	1,032	1,289	jul/64	3,780	4,216	6,433	1,090	2,471	3,089
jun/60	3,174	3,540	5,402	0,916	2,075	2,594	ago/64	2,956	3,297	5,031	0,853	1,933	2,416
jul/60	2,912	3,248	4,956	0,840	1,904	2,380	set/64	4,508	5,028	7,673	1,300	2,948	3,685
ago/60	5,810	6,481	9,889	1,676	3,799	4,749	out/64	0,927	1,034	1,578	0,267	0,606	0,758
set/60	5,142	5,735	8,751	1,483	3,362	4,203	nov/64	0,695	0,776	1,183	0,201	0,455	0,568
out/60	3,836	4,278	6,528	1,106	2,508	3,135	dez/64	1,745	1,946	2,969	0,503	1,141	1,426
nov/60	4,175	4,657	7,105	1,204	2,730	3,412	jan/65	2,275	2,537	3,872	0,656	1,487	1,859
dez/60	2,660	2,967	4,527	0,767	1,739	2,174	fev/65	0,961	1,071	1,635	0,277	0,628	0,785
jan/61	2,218	2,474	3,775	0,640	1,450	1,813	mar/65	2,933	3,271	4,991	0,846	1,917	2,397
fev/61	4,387	4,894	7,467	1,266	2,869	3,586	abr/65	1,841	2,053	3,133	0,531	1,204	1,505
mar/61	9,026	10,067	15,361	2,604	5,901	7,377	mai/65	1,286	1,435	2,189	0,371	0,841	1,051
abr/61	4,858	5,418	8,268	1,401	3,176	3,970	jun/65	0,670	0,748	1,141	0,193	0,438	0,548
mai/61	1,313	1,464	2,234	0,379	0,858	1,073	jul/65	0,903	1,007	1,537	0,260	0,590	0,738
jun/61	4,535	5,058	7,718	1,308	2,965	3,707	ago/65	8,257	9,210	14,052	2,382	5,399	6,748
jul/61	3,257	3,633	5,544	0,940	2,130	2,662	set/65	8,243	9,194	14,029	2,378	5,390	6,737
ago/61	2,498	2,786	4,252	0,721	1,633	2,042	out/65	4,736	5,283	8,061	1,366	3,097	3,871
set/61	11,963	13,343	20,359	3,451	7,822	9,777	nov/65	3,599	4,014	6,125	1,038	2,353	2,941
out/61	9,799	10,929	16,677	2,827	6,407	8,009	dez/65	5,603	6,249	9,536	1,616	3,663	4,579
nov/61	6,990	7,797	11,897	2,016	4,571	5,713	jan/66	4,976	5,550	8,469	1,435	3,253	4,067
dez/61	6,010	6,703	10,228	1,734	3,929	4,912	fev/66	6,949	7,751	11,827	2,004	4,544	5,679
jan/62	5,156	5,751	8,775	1,487	3,371	4,214	mar/66	5,539	6,178	9,427	1,598	3,622	4,527
fev/62	1,436	1,602	2,444	0,414	0,939	1,174	abr/66	1,824	2,035	3,105	0,526	1,193	1,491

Anexo 1 - Vazões incrementais geradas para os Pontos de Controle (m³/s) - continuação

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
mai/66	0,783	0,874	1,333	0,226	0,512	0,640	jul/70	5,467	6,098	9,305	1,577	3,575	4,468
jun/66	2,489	2,777	4,237	0,718	1,628	2,035	ago/70	2,145	2,392	3,650	0,619	1,402	1,753
jul/66	6,814	7,600	11,596	1,965	4,455	5,569	set/70	1,096	1,222	1,865	0,316	0,717	0,896
ago/66	3,864	4,310	6,577	1,115	2,527	3,158	out/70	3,531	3,939	6,010	1,019	2,309	2,886
set/66	5,119	5,709	8,712	1,477	3,347	4,184	nov/70	1,796	2,003	3,057	0,518	1,174	1,468
out/66	4,221	4,708	7,183	1,218	2,760	3,450	dez/70	1,876	2,092	3,192	0,541	1,226	1,533
nov/66	2,096	2,338	3,567	0,605	1,370	1,713	jan/71	2,216	2,472	3,772	0,639	1,449	1,811
dez/66	9,489	10,584	16,149	2,737	6,204	7,755	fev/71	5,209	5,810	8,865	1,503	3,406	4,257
jan/67	5,244	5,849	8,925	1,513	3,429	4,286	mar/71	5,685	6,341	9,676	1,640	3,717	4,647
fev/67	3,730	4,161	6,348	1,076	2,439	3,049	abr/71	2,601	2,901	4,427	0,750	1,701	2,126
mar/67	3,725	4,155	6,340	1,075	2,436	3,045	mai/71	2,523	2,814	4,293	0,728	1,649	2,062
abr/67	0,686	0,766	1,168	0,198	0,449	0,561	jun/71	1,014	1,131	1,725	0,292	0,663	0,828
mai/67	0,569	0,635	0,969	0,164	0,372	0,465	jul/71	1,067	1,190	1,816	0,308	0,698	0,872
jun/67	2,018	2,250	3,434	0,582	1,319	1,649	ago/71	7,319	8,163	12,456	2,111	4,785	5,982
jul/67	1,392	1,553	2,369	0,402	0,910	1,138	set/71	1,085	1,210	1,846	0,313	0,709	0,887
ago/67	1,408	1,571	2,397	0,406	0,921	1,151	out/71	1,047	1,167	1,781	0,302	0,684	0,855
set/67	15,236	16,994	25,931	4,395	9,962	12,453	nov/71	1,298	1,448	2,210	0,374	0,849	1,061
out/67	2,163	2,413	3,681	0,624	1,414	1,768	dez/71	1,814	2,023	3,087	0,523	1,186	1,482
nov/67	1,707	1,904	2,905	0,492	1,116	1,395	jan/72	8,381	9,348	14,264	2,418	5,480	6,850
dez/67	2,027	2,261	3,450	0,585	1,326	1,657	fev/72	4,081	4,552	6,946	1,177	2,668	3,335
jan/68	1,328	1,482	2,261	0,383	0,869	1,086	mar/72	4,370	4,874	7,437	1,260	2,857	3,571
fev/68	1,160	1,294	1,975	0,335	0,759	0,948	abr/72	2,977	3,320	5,066	0,859	1,946	2,433
mar/68	1,845	2,058	3,140	0,532	1,206	1,508	mai/72	0,957	1,068	1,629	0,276	0,626	0,783
abr/68	2,987	3,331	5,083	0,862	1,953	2,441	jun/72	2,754	3,072	4,687	0,794	1,801	2,251
mai/68	0,873	0,973	1,485	0,252	0,571	0,713	jul/72	4,359	4,862	7,419	1,257	2,850	3,563
jun/68	0,770	0,859	1,311	0,222	0,504	0,630	ago/72	6,258	6,981	10,651	1,805	4,092	5,115
jul/68	1,883	2,100	3,204	0,543	1,231	1,539	set/72	6,073	6,774	10,336	1,752	3,971	4,963
ago/68	0,685	0,764	1,166	0,198	0,448	0,560	out/72	2,330	2,598	3,965	0,672	1,523	1,904
set/68	2,675	2,984	4,553	0,772	1,749	2,186	nov/72	2,548	2,842	4,336	0,735	1,666	2,082
out/68	1,348	1,504	2,295	0,389	0,882	1,102	dez/72	1,843	2,055	3,136	0,532	1,205	1,506
nov/68	5,399	6,021	9,188	1,557	3,530	4,412	jan/73	3,732	4,162	6,351	1,076	2,440	3,050
dez/68	1,002	1,117	1,705	0,289	0,655	0,819	fev/73	3,032	3,382	5,161	0,875	1,983	2,478
jan/69	2,993	3,338	5,094	0,863	1,957	2,446	mar/73	1,648	1,839	2,805	0,475	1,078	1,347
fev/69	7,773	8,670	13,229	2,242	5,082	6,353	abr/73	1,089	1,215	1,854	0,314	0,712	0,890
mar/69	2,252	2,512	3,834	0,650	1,473	1,841	mai/73	2,970	3,313	5,055	0,857	1,942	2,428
abr/69	3,072	3,426	5,228	0,886	2,008	2,511	jun/73	1,249	1,393	2,125	0,360	0,817	1,021
mai/69	1,073	1,197	1,826	0,310	0,702	0,877	jul/73	2,067	2,305	3,517	0,596	1,351	1,689
jun/69	0,835	0,931	1,421	0,241	0,546	0,682	ago/73	4,161	4,641	7,082	1,200	2,721	3,401
jul/69	0,815	0,909	1,387	0,235	0,533	0,666	set/73	4,713	5,257	8,021	1,359	3,082	3,852
ago/69	1,705	1,902	2,902	0,492	1,115	1,393	out/73	2,446	2,728	4,162	0,705	1,599	1,999
set/69	5,365	5,984	9,131	1,548	3,508	4,385	nov/73	3,177	3,543	5,406	0,916	2,077	2,596
out/69	1,434	1,599	2,440	0,414	0,937	1,172	dez/73	3,358	3,746	5,716	0,969	2,196	2,745
nov/69	1,856	2,070	3,159	0,535	1,214	1,517	jan/74	1,106	1,233	1,882	0,319	0,723	0,904
dez/69	1,335	1,489	2,272	0,385	0,873	1,091	fev/74	1,307	1,457	2,224	0,377	0,854	1,068
jan/70	3,077	3,432	5,237	0,888	2,012	2,515	mar/74	2,392	2,668	4,071	0,690	1,564	1,955
fev/70	2,604	2,904	4,431	0,751	1,702	2,128	abr/74	1,003	1,119	1,707	0,289	0,656	0,820
mar/70	4,780	5,331	8,135	1,379	3,125	3,907	mai/74	1,145	1,277	1,949	0,330	0,749	0,936
abr/70	1,083	1,208	1,843	0,312	0,708	0,885	jun/74	2,181	2,433	3,713	0,629	1,426	1,783
mai/70	4,297	4,793	7,313	1,240	2,810	3,512	jul/74	1,279	1,427	2,177	0,369	0,836	1,045
jun/70	4,682	5,222	7,968	1,350	3,061	3,826	ago/74	0,677	0,755	1,152	0,195	0,443	0,553

Anexo 1 - Vazões incrementais geradas para os Pontos de Controle (m³/s) - continuação

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
set/74	0,680	0,758	1,157	0,196	0,444	0,555	nov/76	2,393	2,669	4,073	0,690	1,565	1,956
out/74	0,519	0,579	0,883	0,150	0,339	0,424	dez/76	5,747	6,411	9,782	1,658	3,758	4,697
nov/74	1,749	1,951	2,977	0,505	1,144	1,430	jan/77	4,120	4,595	7,011	1,188	2,694	3,367
dez/74	2,654	2,960	4,516	0,765	1,735	2,169	fev/77	2,954	3,295	5,028	0,852	1,932	2,414
jan/75	1,778	1,983	3,026	0,513	1,163	1,453	mar/77	3,788	4,226	6,448	1,093	2,477	3,096
fev/75	5,848	6,523	9,953	1,687	3,824	4,780	abr/77	6,132	6,840	10,437	1,769	4,010	5,012
mar/75	1,865	2,080	3,174	0,538	1,219	1,524	mai/77	3,294	3,674	5,607	0,950	2,154	2,692
abr/75	1,389	1,550	2,365	0,401	0,908	1,136	jun/77	4,502	5,022	7,662	1,299	2,944	3,680
mai/75	0,748	0,834	1,273	0,216	0,489	0,611	jul/77	5,152	5,747	8,768	1,486	3,369	4,211
jun/75	0,914	1,020	1,556	0,264	0,598	0,747	ago/77	6,966	7,770	11,856	2,009	4,555	5,694
jul/75	0,986	1,100	1,679	0,285	0,645	0,806	set/77	1,330	1,483	2,264	0,384	0,870	1,087
ago/75	3,627	4,046	6,173	1,046	2,372	2,964	out/77	1,680	1,873	2,859	0,485	1,098	1,373
set/75	5,773	6,439	9,825	1,665	3,774	4,718	nov/77	3,165	3,530	5,386	0,913	2,069	2,586
out/75	2,138	2,384	3,638	0,617	1,398	1,747	dez/77	2,925	3,262	4,978	0,844	1,912	2,391
nov/75	2,704	3,016	4,601	0,780	1,768	2,210	jan/78	2,675	2,984	4,553	0,772	1,749	2,186
dez/75	2,498	2,786	4,252	0,721	1,633	2,042	fev/78	3,637	4,057	6,191	1,049	2,378	2,973
jan/76	6,537	7,291	11,125	1,886	4,274	5,342	mar/78	1,196	1,334	2,035	0,345	0,782	0,977
fev/76	1,541	1,719	2,622	0,444	1,007	1,259	abr/78	0,646	0,720	1,099	0,186	0,422	0,528
mar/76	2,318	2,585	3,945	0,669	1,516	1,894	mai/78	0,807	0,900	1,373	0,233	0,528	0,659
abr/76	1,992	2,222	3,391	0,575	1,303	1,628	jun/78	1,051	1,173	1,789	0,303	0,687	0,859
mai/76	2,874	3,205	4,890	0,829	1,879	2,349	jul/78	2,464	2,749	4,194	0,711	1,611	2,014
jun/76	3,743	4,175	6,371	1,080	2,448	3,060	ago/78	2,776	3,096	4,724	0,801	1,815	2,269
jul/76	4,908	5,474	8,352	1,416	3,209	4,011	set/78	2,287	2,551	3,892	0,660	1,495	1,869
ago/76	5,627	6,277	9,577	1,623	3,679	4,599	out/78	2,478	2,764	4,218	0,715	1,620	2,025
set/76	3,559	3,969	6,057	1,027	2,327	2,909	nov/78	3,963	4,420	6,744	1,143	2,591	3,239
out/76	1,595	1,779	2,715	0,460	1,043	1,304	dez/78	6,611	7,374	11,252	1,907	4,323	5,403

ANEXO 2 – FORMULAÇÕES IMPLEMENTADAS NO PROGRAMA *LINDO*

Anexo 2.1 – Formulação implementada no programa LINDO para otimização dos níveis de tratamento segundo o enquadramento aprovado pelo COMITESINOS.

MIN 0.004 CREDQDILURPC2 + 0.045 CREDQDILURPC3 + 0.032 CREDQDILURPC4 + 0.048 CREDQDILURPC5 + 0.158 CREDQDILURPC6 + 0.005 CREDQDILINPC3 + 0.0082 CREDQDILINPC4 + 0.0143 CREDQDILINPC5 + 0.037 CREDQDILINPC6

SUBJECT TO

REDQDILURPC2C - 0.883 REDQDILURPC2D - 0.883 REDQDILURPC2E - 0.883
 REDQDILURPC2F = 0
 REDQDILURPC42 - 0.851 REDQDILURPC2A - 0.851 REDQDILURPC2B - 0.851
 REDQDILURPC2C - 0.851 REDQDILURPC2D - 0.851 REDQDILURPC2E - 0.851
 REDQDILURPC2F = 0
 REDQDILURPC52 - 0.732 REDQDILURPC2A - 0.732 REDQDILURPC2B - 0.732
 REDQDILURPC2C - 0.732 REDQDILURPC2D - 0.732 REDQDILURPC2E - 0.732
 REDQDILURPC2F = 0
 REDQDILURPC62 - 0.542 REDQDILURPC2A - 0.542 REDQDILURPC2B - 0.542
 REDQDILURPC2C - 0.542 REDQDILURPC2D - 0.542 REDQDILURPC2E - 0.542
 REDQDILURPC2F = 0
 REDQDILURPC43 - 0.964 REDQDILURPC3A - 0.964 REDQDILURPC3B - 0.964
 REDQDILURPC3C - 0.964 REDQDILURPC3D - 0.964 REDQDILURPC3E - 0.964
 REDQDILURPC3F = 0
 REDQDILURPC53 - 0.830 REDQDILURPC3A - 0.830 REDQDILURPC3B - 0.830
 REDQDILURPC3C - 0.830 REDQDILURPC3D - 0.830 REDQDILURPC3E - 0.830
 REDQDILURPC3F = 0
 REDQDILURPC63 - 0.614 REDQDILURPC3A - 0.614 REDQDILURPC3B - 0.614
 REDQDILURPC3C - 0.614 REDQDILURPC3D - 0.614 REDQDILURPC3E - 0.614
 REDQDILURPC3F = 0
 REDQDILURPC54 - 0.860 REDQDILURPC4A - 0.860 REDQDILURPC4B - 0.860
 REDQDILURPC4C - 0.860 REDQDILURPC4D - 0.860 REDQDILURPC4E - 0.860
 REDQDILURPC4F = 0
 REDQDILURPC64 - 0.637 REDQDILURPC4A - 0.637 REDQDILURPC4B - 0.637
 REDQDILURPC4C - 0.637 REDQDILURPC4D - 0.637 REDQDILURPC4E - 0.637
 REDQDILURPC4F = 0
 REDQDILURPC65 - 0.740 REDQDILURPC5A - 0.740 REDQDILURPC5B - 0.740
 REDQDILURPC5C - 0.740 REDQDILURPC5D - 0.740 REDQDILURPC5E - 0.740
 REDQDILURPC5F = 0

REDQDILINPC43 - 0.964 REDQDILINPC3A - 0.964 REDQDILINPC3B - 0.964
 REDQDILINPC3C - 0.964 REDQDILINPC3D - 0.964 REDQDILINPC3E - 0.964
 REDQDILINPC3F = 0
 REDQDILINPC53 - 0.830 REDQDILINPC3A - 0.830 REDQDILINPC3B - 0.830
 REDQDILINPC3C - 0.830 REDQDILINPC3D - 0.830 REDQDILINPC3E - 0.830
 REDQDILINPC3F = 0
 REDQDILINPC63 - 0.614 REDQDILINPC3A - 0.614 REDQDILINPC3B - 0.614
 REDQDILINPC3C - 0.614 REDQDILINPC3D - 0.614 REDQDILINPC3E - 0.614
 REDQDILINPC3F = 0
 REDQDILINPC54 - 0.860 REDQDILINPC4A - 0.860 REDQDILINPC4B - 0.860
 REDQDILINPC4C - 0.860 REDQDILINPC4D - 0.860 REDQDILINPC4E - 0.860
 REDQDILINPC4F = 0
 REDQDILINPC64 - 0.637 REDQDILINPC4A - 0.637 REDQDILINPC4B - 0.637
 REDQDILINPC4C - 0.637 REDQDILINPC4D - 0.637 REDQDILINPC4E - 0.637
 REDQDILINPC4F = 0
 REDQDILINPC65 - 0.740 REDQDILINPC5A - 0.740 REDQDILINPC5B - 0.740
 REDQDILINPC5C - 0.740 REDQDILINPC5D - 0.740 REDQDILINPC5E - 0.740
 REDQDILINPC5F = 0

-REDQDILURPC2A - REDQDILURPC2B - REDQDILURPC2C - REDQDILURPC2D -
 REDQDILURPC2E - REDQDILURPC2F + QDILURPC2 >= 0
 -REDQDILURPC3A - REDQDILURPC3B - REDQDILURPC3C - REDQDILURPC3D -
 REDQDILURPC3E - REDQDILURPC3F + QDILURPC3 >= 0

-REDQDILURPC4A - REDQDILURPC4B - REDQDILURPC4C - REDQDILURPC4D -
 REDQDILURPC4E - REDQDILURPC4F + QDILURPC4 >= 0
 -REDQDILURPC5A - REDQDILURPC5B - REDQDILURPC5C - REDQDILURPC5D -
 REDQDILURPC5E - REDQDILURPC5F + QDILURPC5 >= 0
 -REDQDILURPC6A - REDQDILURPC6B - REDQDILURPC6C - REDQDILURPC6D -
 REDQDILURPC6E - REDQDILURPC6F + QDILURPC6 >= 0

-REDQDILINPC3A - REDQDILINPC3B - REDQDILINPC3C - REDQDILINPC3D -
 REDQDILINPC3E - REDQDILINPC3F + QDILINPC3 >= 0
 -REDQDILINPC4A - REDQDILINPC4B - REDQDILINPC4C - REDQDILINPC4D -
 REDQDILINPC4E - REDQDILINPC4F + QDILINPC4 >= 0
 -REDQDILINPC5A - REDQDILINPC5B - REDQDILINPC5C - REDQDILINPC5D -
 REDQDILINPC5E - REDQDILINPC5F + QDILINPC5 >= 0
 -REDQDILINPC6A - REDQDILINPC6B - REDQDILINPC6C - REDQDILINPC6D -
 REDQDILINPC6E - REDQDILINPC6F + QDILINPC6 >= 0

QDILURPC2 = 0.21
 QDILURPC3 = 1.22
 QDILURPC4 = 0.88
 QDILURPC5 = 1.31
 QDILURPC6 = 4.31

QDILINPC3 = 0.15
 QDILINPC4 = 4.34
 QDILINPC5 = 12.33
 QDILINPC6 = 29.39

REDQDILURPC2A + REDQDILURPC2B + REDQDILURPC2C + REDQDILURPC2D +
 REDQDILURPC2E + REDQDILURPC2F - REDQDILPC2 >= 0

REDQDILURPC3A + REDQDILURPC3B + REDQDILURPC3C + REDQDILURPC3D +
 REDQDILURPC3E + REDQDILURPC3F + REDQDILURPC32 + REDQDILINPC3A +
 REDQDILINPC3B + REDQDILINPC3C + REDQDILINPC3D + REDQDILINPC3E +
 REDQDILINPC3F - REDQDILPC3 >= 0

REDQDILURPC4A + REDQDILURPC4B + REDQDILURPC4C + REDQDILURPC4D +
 REDQDILURPC4E + REDQDILURPC4F + REDQDILURPC42 + REDQDILURPC43 +
 REDQDILINPC4A + REDQDILINPC4B + REDQDILINPC4C + REDQDILINPC4D +
 REDQDILINPC4E + REDQDILINPC4F + REDQDILINPC43 - REDQDILPC4 >= 0

REDQDILURPC5A + REDQDILURPC5B + REDQDILURPC5C + REDQDILURPC5D +
 REDQDILURPC5E + REDQDILURPC5F + REDQDILURPC52 + REDQDILURPC53 +
 REDQDILURPC54 + REDQDILINPC5A + REDQDILINPC5B + REDQDILINPC5C +
 REDQDILINPC5D + REDQDILINPC5E + REDQDILINPC5F + REDQDILINPC53 +
 REDQDILINPC54 - REDQDILPC5 >= 0

REDQDILURPC6A + REDQDILURPC6B + REDQDILURPC6C + REDQDILURPC6D +
 REDQDILURPC6E + REDQDILURPC6F + REDQDILURPC62 + REDQDILURPC63 +
 REDQDILURPC64 + REDQDILURPC65 + REDQDILINPC6A + REDQDILINPC6B +
 REDQDILINPC6C + REDQDILINPC6D + REDQDILINPC6E + REDQDILINPC6F +
 REDQDILINPC63 + REDQDILINPC64 + REDQDILINPC65 - REDQDILPC6 >= 0

REDQDILPC2 = 0
 REDQDILPC3 = 0
 REDQDILPC4 = 0.43
 REDQDILPC5 = 12.14
 REDQDILPC6 = 40.02

CREDQDILURPC2 - 1.18 REDQDILURPC2A - 1.53 REDQDILURPC2B - 2.00
 REDQDILURPC2C - 2.60 REDQDILURPC2D - 3.16 REDQDILURPC2E - 3.61
 REDQDILURPC2F = 0.117
 CREDQDILURPC3 - 1.18 REDQDILURPC3A - 1.53 REDQDILURPC3B - 2.00
 REDQDILURPC3C - 2.60 REDQDILURPC3D - 3.16 REDQDILURPC3E - 3.61
 REDQDILURPC3F = 0.117

CREDQDILURPC4 - 1.18 REDQDILURPC4A - 1.53 REDQDILURPC4B - 2.00
 REDQDILURPC4C - 2.60 REDQDILURPC4D - 3.16 REDQDILURPC4E - 3.61
 REDQDILURPC4F = 0.117
 CREDQDILURPC5 - 1.18 REDQDILURPC5A - 1.53 REDQDILURPC5B - 2.00
 REDQDILURPC5C - 2.60 REDQDILURPC5D - 3.16 REDQDILURPC5E - 3.61
 REDQDILURPC5F = 0.117
 CREDQDILURPC6 - 1.18 REDQDILURPC6A - 1.53 REDQDILURPC6B - 2.00
 REDQDILURPC6C - 2.60 REDQDILURPC6D - 3.16 REDQDILURPC6E - 3.61
 REDQDILURPC6F = 0.117

CREDQDILINPC3 - 0.03 REDQDILINPC3A - 0.17 REDQDILINPC3B - 0.86
 REDQDILINPC3C - 4.49 REDQDILINPC3D - 14.27 REDQDILINPC3E - 32.60
 REDQDILINPC3F = 0.002
 CREDQDILINPC4 - 0.03 REDQDILINPC4A - 0.17 REDQDILINPC4B - 0.86
 REDQDILINPC4C - 4.49 REDQDILINPC4D - 14.27 REDQDILINPC4E - 32.60
 REDQDILINPC4F = 0.002
 CREDQDILINPC5 - 0.03 REDQDILINPC5A - 0.17 REDQDILINPC5B - 0.86
 REDQDILINPC5C - 4.49 REDQDILINPC5D - 14.27 REDQDILINPC5E - 32.60
 REDQDILINPC5F = 0.002
 CREDQDILINPC6 - 0.03 REDQDILINPC6A - 0.17 REDQDILINPC6B - 0.86
 REDQDILINPC6C - 4.49 REDQDILINPC6D - 14.27 REDQDILINPC6E - 32.60
 REDQDILINPC6F = 0.002

REDQDILURPC2A >= 0
 REDQDILURPC2A <= 0.02
 REDQDILURPC2B >= 0
 REDQDILURPC2B <= 0.02
 REDQDILURPC2C >= 0
 REDQDILURPC2C <= 0.02
 REDQDILURPC2D >= 0
 REDQDILURPC2D <= 0.02
 REDQDILURPC2E >= 0
 REDQDILURPC2E <= 0.01
 REDQDILURPC2F >= 0
 REDQDILURPC2F <= 0.01

REDQDILURPC3A >= 0
 REDQDILURPC3A <= 0.244
 REDQDILURPC3B >= 0
 REDQDILURPC3B <= 0.244
 REDQDILURPC3C >= 0
 REDQDILURPC3C <= 0.244
 REDQDILURPC3D >= 0
 REDQDILURPC3D <= 0.244
 REDQDILURPC3E >= 0
 REDQDILURPC3E <= 0.122
 REDQDILURPC3F >= 0
 REDQDILURPC3F <= 0.122

REDQDILURPC4A >= 0
 REDQDILURPC4A <= 0.176
 REDQDILURPC4B >= 0
 REDQDILURPC4B <= 0.176
 REDQDILURPC4C >= 0
 REDQDILURPC4C <= 0.176
 REDQDILURPC4D >= 0
 REDQDILURPC4D <= 0.176
 REDQDILURPC4E >= 0
 REDQDILURPC4E <= 0.088
 REDQDILURPC4F >= 0
 REDQDILURPC4F <= 0.088

REDQDILURPC5A >= 0
 REDQDILURPC5A <= 0.262

REDQDILURPC5B >= 0
REDQDILURPC5B <= 0.262
REDQDILURPC5C >= 0
REDQDILURPC5C <= 0.262
REDQDILURPC5D >= 0
REDQDILURPC5D <= 0.262
REDQDILURPC5E >= 0
REDQDILURPC5E <= 0.131
REDQDILURPC5F >= 0
REDQDILURPC5F <= 0.131

REDQDILURPC6A >= 0
REDQDILURPC6A <= 0.862
REDQDILURPC6B >= 0
REDQDILURPC6B <= 0.862
REDQDILURPC6C >= 0
REDQDILURPC6C <= 0.862
REDQDILURPC6D >= 0
REDQDILURPC6D <= 0.862
REDQDILURPC6E >= 0
REDQDILURPC6E <= 0.431
REDQDILURPC6F >= 0
REDQDILURPC6F <= 0.431

REDQDILINPC3A >= 0
REDQDILINPC3A <= 0.03
REDQDILINPC3B >= 0
REDQDILINPC3B <= 0.03
REDQDILINPC3C >= 0
REDQDILINPC3C <= 0.03
REDQDILINPC3D >= 0
REDQDILINPC3D <= 0.03
REDQDILINPC3E >= 0
REDQDILINPC3E <= 0.015
REDQDILINPC3F >= 0
REDQDILINPC3F <= 0.015

REDQDILINPC4A >= 0
REDQDILINPC4A <= 0.868
REDQDILINPC4B >= 0
REDQDILINPC4B <= 0.868
REDQDILINPC4C >= 0
REDQDILINPC4C <= 0.868
REDQDILINPC4D >= 0
REDQDILINPC4D <= 0.868
REDQDILINPC4E >= 0
REDQDILINPC4E <= 0.434
REDQDILINPC4F >= 0
REDQDILINPC4F <= 0.434

REDQDILINPC5A >= 0
REDQDILINPC5A <= 2.466
REDQDILINPC5B >= 0
REDQDILINPC5B <= 2.466
REDQDILINPC5C >= 0
REDQDILINPC5C <= 2.466
REDQDILINPC5D >= 0
REDQDILINPC5D <= 2.466
REDQDILINPC5E >= 0
REDQDILINPC5E <= 1.233
REDQDILINPC5F >= 0
REDQDILINPC5F <= 1.233

REDQDILINPC6A >= 0

REDQDILINPC6A <= 5.878
REDQDILINPC6B >= 0
REDQDILINPC6B <= 5.878
REDQDILINPC6C >= 0
REDQDILINPC6C <= 5.878
REDQDILINPC6D >= 0
REDQDILINPC6D <= 5.878
REDQDILINPC6E >= 0
REDQDILINPC6E <= 2.939
REDQDILINPC6F >= 0
REDQDILINPC6F <= 2.939

END

Anexo 2.2 – Formulação implementada no programa LINDO para otimização dos níveis de tratamento segundo a proposta de enquadramento flexibilizado

MIN 0.004 CREDQDILURPC2 + 0.045 CREDQDILURPC3 + 0.032 CREDQDILURPC4 +
0.048 CREDQDILURPC5 + 0.158 CREDQDILURPC6 + 0.005 CREDQDILINPC3 + 0.0082
CREDQDILINPC4 + 0.0143 CREDQDILINPC5 + 0.037 CREDQDILINPC6

SUBJECT TO

REDQDILURPC32 - 0.883 REDQDILURPC2A - 0.883 REDQDILURPC2B - 0.883
REDQDILURPC2C - 0.883 REDQDILURPC2D - 0.883 REDQDILURPC2E - 0.883
REDQDILURPC2F = 0
REDQDILURPC42 - 0.851 REDQDILURPC2A - 0.851 REDQDILURPC2B - 0.851
REDQDILURPC2C - 0.851 REDQDILURPC2D - 0.851 REDQDILURPC2E - 0.851
REDQDILURPC2F = 0
REDQDILURPC52 - 0.732 REDQDILURPC2A - 0.732 REDQDILURPC2B - 0.732
REDQDILURPC2C - 0.732 REDQDILURPC2D - 0.732 REDQDILURPC2E - 0.732
REDQDILURPC2F = 0
REDQDILURPC62 - 0.542 REDQDILURPC2A - 0.542 REDQDILURPC2B - 0.542
REDQDILURPC2C - 0.542 REDQDILURPC2D - 0.542 REDQDILURPC2E - 0.542
REDQDILURPC2F = 0
REDQDILURPC43 - 0.964 REDQDILURPC3A - 0.964 REDQDILURPC3B - 0.964
REDQDILURPC3C - 0.964 REDQDILURPC3D - 0.964 REDQDILURPC3E - 0.964
REDQDILURPC3F = 0
REDQDILURPC53 - 0.830 REDQDILURPC3A - 0.830 REDQDILURPC3B - 0.830
REDQDILURPC3C - 0.830 REDQDILURPC3D - 0.830 REDQDILURPC3E - 0.830
REDQDILURPC3F = 0
REDQDILURPC63 - 0.614 REDQDILURPC3A - 0.614 REDQDILURPC3B - 0.614
REDQDILURPC3C - 0.614 REDQDILURPC3D - 0.614 REDQDILURPC3E - 0.614
REDQDILURPC3F = 0
REDQDILURPC54 - 0.860 REDQDILURPC4A - 0.860 REDQDILURPC4B - 0.860
REDQDILURPC4C - 0.860 REDQDILURPC4D - 0.860 REDQDILURPC4E - 0.860
REDQDILURPC4F = 0
REDQDILURPC64 - 0.637 REDQDILURPC4A - 0.637 REDQDILURPC4B - 0.637
REDQDILURPC4C - 0.637 REDQDILURPC4D - 0.637 REDQDILURPC4E - 0.637
REDQDILURPC4F = 0
REDQDILURPC65 - 0.740 REDQDILURPC5A - 0.740 REDQDILURPC5B - 0.740
REDQDILURPC5C - 0.740 REDQDILURPC5D - 0.740 REDQDILURPC5E - 0.740
REDQDILURPC5F = 0

REDQDILINPC43 - 0.964 REDQDILINPC3A - 0.964 REDQDILINPC3B - 0.964
REDQDILINPC3C - 0.964 REDQDILINPC3D - 0.964 REDQDILINPC3E - 0.964
REDQDILINPC3F = 0
REDQDILINPC53 - 0.830 REDQDILINPC3A - 0.830 REDQDILINPC3B - 0.830
REDQDILINPC3C - 0.830 REDQDILINPC3D - 0.830 REDQDILINPC3E - 0.830
REDQDILINPC3F = 0
REDQDILINPC63 - 0.614 REDQDILINPC3A - 0.614 REDQDILINPC3B - 0.614
REDQDILINPC3C - 0.614 REDQDILINPC3D - 0.614 REDQDILINPC3E - 0.614
REDQDILINPC3F = 0
REDQDILINPC54 - 0.860 REDQDILINPC4A - 0.860 REDQDILINPC4B - 0.860
REDQDILINPC4C - 0.860 REDQDILINPC4D - 0.860 REDQDILINPC4E - 0.860
REDQDILINPC4F = 0
REDQDILINPC64 - 0.637 REDQDILINPC4A - 0.637 REDQDILINPC4B - 0.637
REDQDILINPC4C - 0.637 REDQDILINPC4D - 0.637 REDQDILINPC4E - 0.637
REDQDILINPC4F = 0
REDQDILINPC65 - 0.740 REDQDILINPC5A - 0.740 REDQDILINPC5B - 0.740
REDQDILINPC5C - 0.740 REDQDILINPC5D - 0.740 REDQDILINPC5E - 0.740
REDQDILINPC5F = 0

-REDQDILURPC2A - REDQDILURPC2B - REDQDILURPC2C - REDQDILURPC2D -
REDQDILURPC2E - REDQDILURPC2F + QDILURPC2 >= 0

-REDQDILURPC3A - REDQDILURPC3B - REDQDILURPC3C - REDQDILURPC3D -
 REDQDILURPC3E - REDQDILURPC3F + QDILURPC3 >= 0
 -REDQDILURPC4A - REDQDILURPC4B - REDQDILURPC4C - REDQDILURPC4D -
 REDQDILURPC4E - REDQDILURPC4F + QDILURPC4 >= 0
 -REDQDILURPC5A - REDQDILURPC5B - REDQDILURPC5C - REDQDILURPC5D -
 REDQDILURPC5E - REDQDILURPC5F + QDILURPC5 >= 0
 -REDQDILURPC6A - REDQDILURPC6B - REDQDILURPC6C - REDQDILURPC6D -
 REDQDILURPC6E - REDQDILURPC6F + QDILURPC6 >= 0

-REDQDILINPC3A - REDQDILINPC3B - REDQDILINPC3C - REDQDILINPC3D -
 REDQDILINPC3E - REDQDILINPC3F + QDILINPC3 >= 0
 -REDQDILINPC4A - REDQDILINPC4B - REDQDILINPC4C - REDQDILINPC4D -
 REDQDILINPC4E - REDQDILINPC4F + QDILINPC4 >= 0
 -REDQDILINPC5A - REDQDILINPC5B - REDQDILINPC5C - REDQDILINPC5D -
 REDQDILINPC5E - REDQDILINPC5F + QDILINPC5 >= 0
 -REDQDILINPC6A - REDQDILINPC6B - REDQDILINPC6C - REDQDILINPC6D -
 REDQDILINPC6E - REDQDILINPC6F + QDILINPC6 >= 0

REDQDILURPC2A + REDQDILURPC2B + REDQDILURPC2C + REDQDILURPC2D +
 REDQDILURPC2E + REDQDILURPC2F - REDQDILPC2 >= 0
 REDQDILURPC3A + REDQDILURPC3B + REDQDILURPC3C + REDQDILURPC3D +
 REDQDILURPC3E + REDQDILURPC3F + REDQDILURPC32 + REDQDILINPC3A +
 REDQDILINPC3B + REDQDILINPC3C + REDQDILINPC3D + REDQDILINPC3E +
 REDQDILINPC3F - REDQDILPC3 >= 0
 REDQDILURPC4A + REDQDILURPC4B + REDQDILURPC4C + REDQDILURPC4D +
 REDQDILURPC4E + REDQDILURPC4F + REDQDILURPC42 + REDQDILURPC43 +
 REDQDILINPC4A + REDQDILINPC4B + REDQDILINPC4C + REDQDILINPC4D +
 REDQDILINPC4E + REDQDILINPC4F + REDQDILINPC43 - REDQDILPC4 >= 0
 REDQDILURPC5A + REDQDILURPC5B + REDQDILURPC5C + REDQDILURPC5D +
 REDQDILURPC5E + REDQDILURPC5F + REDQDILURPC52 + REDQDILURPC53 +
 REDQDILURPC54 + REDQDILINPC5A + REDQDILINPC5B + REDQDILINPC5C +
 REDQDILINPC5D + REDQDILINPC5E + REDQDILINPC5F + REDQDILINPC53 +
 REDQDILINPC54 - REDQDILPC5 >= 0
 REDQDILURPC6A + REDQDILURPC6B + REDQDILURPC6C + REDQDILURPC6D +
 REDQDILURPC6E + REDQDILURPC6F + REDQDILURPC62 + REDQDILURPC63 +
 REDQDILURPC64 + REDQDILURPC65 + REDQDILINPC6A + REDQDILINPC6B +
 REDQDILINPC6C + REDQDILINPC6D + REDQDILINPC6E + REDQDILINPC6F +
 REDQDILINPC63 + REDQDILINPC64 + REDQDILINPC65 - REDQDILPC6 >= 0

QDILURPC2 = 0.21
 QDILURPC3 = 1.22
 QDILURPC4 = 0.88
 QDILURPC5 = 0.55
 QDILURPC6 = 1.83

QDILINPC3 = 0.15
 QDILINPC4 = 4.34
 QDILINPC5 = 5.47
 QDILINPC6 = 13.04

REDQDILPC2 = 0
 REDQDILPC3 = 0
 REDQDILPC4 = 0
 REDQDILPC5 = 1.32
 REDQDILPC6 = 13.18

CREDQDILURPC2 - 1.18 REDQDILURPC2A - 1.53 REDQDILURPC2B - 2.00
 REDQDILURPC2C - 2.60 REDQDILURPC2D - 3.16 REDQDILURPC2E - 3.61
 REDQDILURPC2F = 0.117
 CREDQDILURPC3 - 1.18 REDQDILURPC3A - 1.53 REDQDILURPC3B - 2.00
 REDQDILURPC3C - 2.60 REDQDILURPC3D - 3.16 REDQDILURPC3E - 3.61
 REDQDILURPC3F = 0.117

CREDQDILURPC4 - 1.18 REDQDILURPC4A - 1.53 REDQDILURPC4B - 2.00
 REDQDILURPC4C - 2.60 REDQDILURPC4D - 3.16 REDQDILURPC4E - 3.61
 REDQDILURPC4F = 0.117
 CREDQDILURPC5 - 1.18 REDQDILURPC5A - 1.53 REDQDILURPC5B - 2.00
 REDQDILURPC5C - 2.60 REDQDILURPC5D - 3.16 REDQDILURPC5E - 3.61
 REDQDILURPC5F = 0.117
 CREDQDILURPC6 - 1.18 REDQDILURPC6A - 1.53 REDQDILURPC6B - 2.00
 REDQDILURPC6C - 2.60 REDQDILURPC6D - 3.16 REDQDILURPC6E - 3.61
 REDQDILURPC6F = 0.117

 CREDQDILINPC3 - 0.03 REDQDILINPC3A - 0.17 REDQDILINPC3B - 0.86
 REDQDILINPC3C - 4.49 REDQDILINPC3D - 14.27 REDQDILINPC3E - 32.60
 REDQDILINPC3F = 0.002
 CREDQDILINPC4 - 0.03 REDQDILINPC4A - 0.17 REDQDILINPC4B - 0.86
 REDQDILINPC4C - 4.49 REDQDILINPC4D - 14.27 REDQDILINPC4E - 32.60
 REDQDILINPC4F = 0.002
 CREDQDILINPC5 - 0.03 REDQDILINPC5A - 0.17 REDQDILINPC5B - 0.86
 REDQDILINPC5C - 4.49 REDQDILINPC5D - 14.27 REDQDILINPC5E - 32.60
 REDQDILINPC5F = 0.002
 CREDQDILINPC6 - 0.03 REDQDILINPC6A - 0.17 REDQDILINPC6B - 0.86
 REDQDILINPC6C - 4.49 REDQDILINPC6D - 14.27 REDQDILINPC6E - 32.60
 REDQDILINPC6F = 0.002

 REDQDILURPC2A >= 0
 REDQDILURPC2A <= 0.02
 REDQDILURPC2B >= 0
 REDQDILURPC2B <= 0.02
 REDQDILURPC2C >= 0
 REDQDILURPC2C <= 0.02
 REDQDILURPC2D >= 0
 REDQDILURPC2D <= 0.02
 REDQDILURPC2E >= 0
 REDQDILURPC2E <= 0.01
 REDQDILURPC2F >= 0
 REDQDILURPC2F <= 0.01

 REDQDILURPC3A >= 0
 REDQDILURPC3A <= 0.244
 REDQDILURPC3B >= 0
 REDQDILURPC3B <= 0.244
 REDQDILURPC3C >= 0
 REDQDILURPC3C <= 0.244
 REDQDILURPC3D >= 0
 REDQDILURPC3D <= 0.244
 REDQDILURPC3E >= 0
 REDQDILURPC3E <= 0.122
 REDQDILURPC3F >= 0
 REDQDILURPC3F <= 0.122

 REDQDILURPC4A >= 0
 REDQDILURPC4A <= 0.176
 REDQDILURPC4B >= 0
 REDQDILURPC4B <= 0.176
 REDQDILURPC4C >= 0
 REDQDILURPC4C <= 0.176
 REDQDILURPC4D >= 0
 REDQDILURPC4D <= 0.176
 REDQDILURPC4E >= 0
 REDQDILURPC4E <= 0.088
 REDQDILURPC4F >= 0
 REDQDILURPC4F <= 0.088

 REDQDILURPC5A >= 0
 REDQDILURPC5A <= 0.262

REDQDILURPC5B >= 0
REDQDILURPC5B <= 0.262
REDQDILURPC5C >= 0
REDQDILURPC5C <= 0.262
REDQDILURPC5D >= 0
REDQDILURPC5D <= 0.262
REDQDILURPC5E >= 0
REDQDILURPC5E <= 0.131
REDQDILURPC5F >= 0
REDQDILURPC5F <= 0.131

REDQDILURPC6A >= 0
REDQDILURPC6A <= 0.862
REDQDILURPC6B >= 0
REDQDILURPC6B <= 0.862
REDQDILURPC6C >= 0
REDQDILURPC6C <= 0.862
REDQDILURPC6D >= 0
REDQDILURPC6D <= 0.862
REDQDILURPC6E >= 0
REDQDILURPC6E <= 0.431
REDQDILURPC6F >= 0
REDQDILURPC6F <= 0.431

REDQDILINPC3A >= 0
REDQDILINPC3A <= 0.03
REDQDILINPC3B >= 0
REDQDILINPC3B <= 0.03
REDQDILINPC3C >= 0
REDQDILINPC3C <= 0.03
REDQDILINPC3D >= 0
REDQDILINPC3D <= 0.03
REDQDILINPC3E >= 0
REDQDILINPC3E <= 0.015
REDQDILINPC3F >= 0
REDQDILINPC3F <= 0.015

REDQDILINPC4A >= 0
REDQDILINPC4A <= 0.868

REDQDILINPC4B >= 0
REDQDILINPC4B <= 0.868
REDQDILINPC4C >= 0
REDQDILINPC4C <= 0.868
REDQDILINPC4D >= 0
REDQDILINPC4D <= 0.868
REDQDILINPC4E >= 0
REDQDILINPC4E <= 0.434
REDQDILINPC4F >= 0
REDQDILINPC4F <= 0.434

REDQDILINPC5A >= 0
REDQDILINPC5A <= 2.466
REDQDILINPC5B >= 0
REDQDILINPC5B <= 2.466
REDQDILINPC5C >= 0
REDQDILINPC5C <= 2.466
REDQDILINPC5D >= 0
REDQDILINPC5D <= 2.466
REDQDILINPC5E >= 0
REDQDILINPC5E <= 1.233
REDQDILINPC5F >= 0
REDQDILINPC5F <= 1.233

```
REDQDILINPC6A >= 0
REDQDILINPC6A <= 5.878
REDQDILINPC6B >= 0
REDQDILINPC6B <= 5.878
REDQDILINPC6C >= 0
REDQDILINPC6C <= 5.878
REDQDILINPC6D >= 0
REDQDILINPC6D <= 5.878
REDQDILINPC6E >= 0
REDQDILINPC6E <= 2.939
REDQDILINPC6F >= 0
REDQDILINPC6F <= 2.939
```

```
END
```